

**ZWEIDIMENSIONALE ECHOKARDIOGRAPHISCHE
DIAGNOSTIK EINER LINKS PERSISTIERENDEN
OBEREN HOHLVENE**

SIGRID FRITSCH

1986

*Diss
München*



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen
im Kindesalter am Deutschen Herzzentrum München

Direktor: Prof. Dr. med. K. Bühlmeier

**Zweidimensionale echokardiographische Diagnostik
einer links persistierenden oberen Hohlvene**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten
Medizin an der Ludwig-Maximilians Universität
zu München

vorgelegt von
Sigrid Fritsch
aus
Germaringen
Jahr
1986

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. K. Bühlmeier

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. B. Hadorn

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 22.05.1986

Herrn Prof. Dr. med. Bühlmeier danke ich für die
Stellung des Themas, Herrn Dr. med. K. D. Müller
für seine Unterstützung bei der Fertigstellung der
Arbeit.

Für meine Eltern

und

Frederick

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	4
2. Embryologie	6
2.1. Embryologische Entwicklung der Hohl- venen	6
2.2. Embryologische Entwicklung und anatomi- sche Lage der links persistierenden Vena cava superior (LPSVC)	9
3. Häufigkeit einer LPSVC und Kombination mit kongenitalen Herzfehlern	14
4. Klinische Auswirkungen durch das Vor- liegen einer LPSVC	18
5. Möglichkeiten der Diagnose einer LPSVC	21
5.1. Elektrokardiogramm	21
5.2. Jugularvenenpulskurve	22
5.3. Röntgen	22
5.4. Herzkatheteruntersuchungen und Angio- graphie	23
6. Grundlagen der Echokardiographie	24
6.1. Physikalische Grundlagen des Ultra- schalls	25
6.2. Die bildliche Darstellung der Echowe- len	38
6.3. Apparative Voraussetzungen für die Sonographie	38

6.4.	Untersuchungstechnik in der zweidimensionalen Echokardiographie	40
6.4.1.	Parasternale Echokardiographie	41
6.4.1.1.	Parasternale Längsachse	41
6.4.1.2.	Parasternale kurze Achse	47
6.4.2.	Apikale Echokardiographie	51
6.4.3.	Subcostale (subxyphoidale) Echokardiographie	55
6.4.4.	Suprasternale Echokardiographie	58
7.	Kontrastechokardiographie	61
7.1.	Grundlagen	61
7.2.	Injektionstechnik	63
7.3.	Anwendungsgebiete	64
8.	Methodik	67
8.1.	Patienten	67
8.2.	Geräte	69
8.3.	Untersuchungsgang	70
9.	Ergebnisse	72
9.1.	Retrospektive Gruppe	72
9.2.	Prospektive Gruppe	79
10.	Diskussion	82
10.1..	Ergebnisse des Nachweises einer LPSVC in der Literatur	83
10.2.	Gegenüberstellung mit eigenen Ergebnissen	97
11.	Zusammenfassung	103

12.	Literaturverzeichnis	105
13.	Abkürzungen	120

1. Einleitung

Die Ultraschalldiagnostik hat heute in der Medizin einen weiten Anwendungsbereich gefunden. Die Methode ist schmerzlos, beliebig oft wiederholbar und unschädlich. Obwohl die technischen Grundlagen des Ultraschalls schon seit 1883 bekannt waren, dauerte es weitere 70 Jahre bis das Verfahren Eingang in die medizinische Diagnostik fand.

Die Echokardiographie wurde 1950 durch KEIDEL (41) eingeführt, der als einer der ersten das menschliche Herz beschallte. Die Arbeiten von FEIGENBAUM (15), der 1960 den Nachweis eines Perikardergusses führte, brachten jedoch erst den Durchbruch in der medizinischen Anwendung. Bald waren Aussagen über Herzklappen, Herzwanddicke (16), linksventrikuläre Dimensionen (18) und linksventrikuläres Schlagvolumen (17) möglich. GRAMIAK (26) gelang 1969 mit Hilfe von Indozyanin grün die genaue Identifizierung von bisher fraglichen Herzstrukturen. Er lieferte auch Beschreibungen der Aortenwurzel, der Aorten- und Pulmonalklappe und der endokardialen Begrenzung des linken Ventrikels (26,27,28). Durch diese Arbeiten wurde die Brauchbarkeit dieses nicht invasiven, diagnostischen Verfahrens belegt.

Angeborene und erworbene Herzmißbildungen werden jedoch auch heute noch überwiegend durch Herzkatheterisierung und Angiokardiographie diagnostiziert.

Beide Methoden sind mit einem vergleichsweise hohen Risiko für den Patienten verbunden. Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, mit Hilfe der Echokardiographie, das Vorhandensein oder den Ausschluß einer Anomalie des venösen Systems - nämlich einer links persistierenden Vena cava superior (LPSVC) - zu überprüfen.

In einer retrospektiven und prospektiven Studie wurde an einem umfangreichen Patientenkollektiv geprüft, wie hoch die Treffsicherheit der zweidimensionalen Echokardiographie beim Nachweis einer LPSVC ist.

2. Embryologie

Die Entstehung der großen Körpervenen ist in der embryologischen Entwicklung besonders großen Variationen unterworfen. Diese Anomalien sind hämodynamisch meist unbedeutend, können aber bei diagnostischen Eingriffen, wie z. B. Herzkatheterisierung und Angiokardiographie oder bei Operationen am Herzen zu unvorhergesehenen Komplikationen führen. Eine links persistierende Vena cava superior wurde lange Zeit als anatomische Kuriosität betrachtet und blieb daher ohne klinische Bedeutung.

Mit der Einführung von Herzkatheteruntersuchungen, Angiokardiographien und Operationen mit der Herz-Lungen-Maschine hat sich dies grundlegend geändert.

2.1. Embryologische Entwicklung der Hohlvenen

Beim 4 mm großen Embryo sind drei große Venenpaare vorhanden:

1. die Dottervenen (Vv. vitellinae), 2. die Nabelvene (Vv. umbilicales) und 3. die Kardinalvenen (Vv. cardinales), die dem Blutrückfluß aus dem eigentlichen Embryonalkörper dienen.

In der folgenden Darstellung wird nur auf die Entwicklung der Vv. cardinales eingegangen, da nur ihre Entstehung für das Verständnis einer links persistierenden V. cava superior von Bedeutung ist.

Die Vv. cardinales anteriores führen Blut aus dem Kopfteil des Embryos, die Vv. cardinales posteriores drainieren den übrigen Embryonalkörper einschließlich der Urniere (47).

Die vordere und hintere Kardianlvene einer Seite vereinigen sich kurz bevor sie in das Herz eintreten und bilden die kurze V. cardinalis communis (Ductus cuvieri), die neben den Nabelvenen in das rechte und linke Sinushorn einmündet.

Im 10 mm-Stadium (Scheitel-Steißlänge) sind die Kardinalvenen symmetrisch angeordnet und auf beiden Seiten gut ausgebildet (47, 57).

Die sich entwickelnden Nieren aber komprimieren die Venae cardinales und verlagern sie. Im Übergangsstadium (12 bis 14 mm) beginnen die Nieren zu ascendieren. Dabei werden die Vv. cardinales posteriores weiter komprimiert. Es bleiben schließlich nur die terminalen Abschnitte erhalten, die rechts den Bogen der V. azygos und links einen Teil der oberen Interkostalvene bilden.

Im 17 mm-Stadium fließt das venöse Blut aus den oberen Extremitäten über Venen ab, die in die vorderen Kardinalvenen münden.

Das linke Horn des Sinus venosus, der zukünftige Sinus coronarius hat ebenfalls an Größe verloren (57). Die Drehung der sinuatrialen Herzregion infolge des symmetrischen Wachstums der Herzanlage, sowie die Vergrößerung des linken Vorhofs führen

zu einer Behinderung des Blutflusses durch das linke Sinushorn, das sich dadurch noch weiter verkleinert (2,32).

Im. 24 mm-Stadium bildet sich, bedingt durch das Druckgefälle zwischen linkem und rechtem Sinushorn, eine Anastomose zwischen den vorderen Kardinalvenen aus (2, 22). Aus ihr entwickelt sich die venöse Hauptstrombahn der linken Körperhälfte und der linken oberen Extremität, die V. brachiocephalica (anonyma) sinistra, die den Blutstrom zur rechten Seite ableitet.

Die V. cardinales communis und der angrenzende Abschnitt des linken Sinushorn veröden und bilden das Lig. Marshalli (60).

Die beiden Vv. supracardinales anastomosieren unterhalb des dritten Interkostalvenenpaares. Die rechte wird zur V. azygos, die linke, caudal der Anastomose zur V. hemiazygos, cranial davon zur V. hemiazygos accessoria.

Der obere Anteil der V. cardinalis posterior und der zwischen ihr und der linken V. brachiocephalica liegende Abschnitt der vorderen Kardinalvene bleiben als linke V. intercostalis superior erhalten. Sie führt Blut aus dem 2. und 3. Interkostalraum. Der linken V. costalis superior entspricht auf der rechten Seite ein in die rechte V. azygos entleerendes Gefäß, die rechte V. intercostalis superior (57).

Damit ist die normale Entwicklung der Kardinalvenen weitgehend abgeschlossen.

22. 11. 1971, 11. 12. 1971, 1. 1. 1972

Unterleibesbeckenabschnitt

Leber ist vergrößert, vergrößert sich auch die Hohlader, beide in der Leber vergrößert sich die Bildung des Peritonealsackes, statt der 2. Leber bleibt die 1. Leber, die vergrößert sich (44). Dadurch ist die Hohlader vergrößert.

Leber vergrößert sich

Bei (11) ist die Bildung der Hohlader der Hohlader, die Vergrößerung der Hohlader, die Vergrößerung der Hohlader, die Vergrößerung der Hohlader, die Vergrößerung der Hohlader (51).

Leber vergrößert sich, vergrößert sich

Leber vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich (21) und bildet die vergrößerte Hohlader, die vergrößerte Hohlader, die vergrößerte Hohlader, die vergrößerte Hohlader.

Leber vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich

Leber vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich

Leber vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich (51).

Leber vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich, vergrößert sich (51).

In den meisten dieser Fälle ist die Vena cava superior nicht einseitig, sondern beidseitig ausgebildet. Dabei mündet die rechtsseitige Vena cava

häufig in den Koronarsinus. Man sollte jedoch hierbei die links liegende Vena cava als rechte betrachten (57).

In der folgenden Übersicht (Abb. 1) sind die verschiedenen Formen und Ausbildungen einer links persistierenden V. cava superior mit ihren unterschiedlichen Mündungsorten zusammengefaßt.

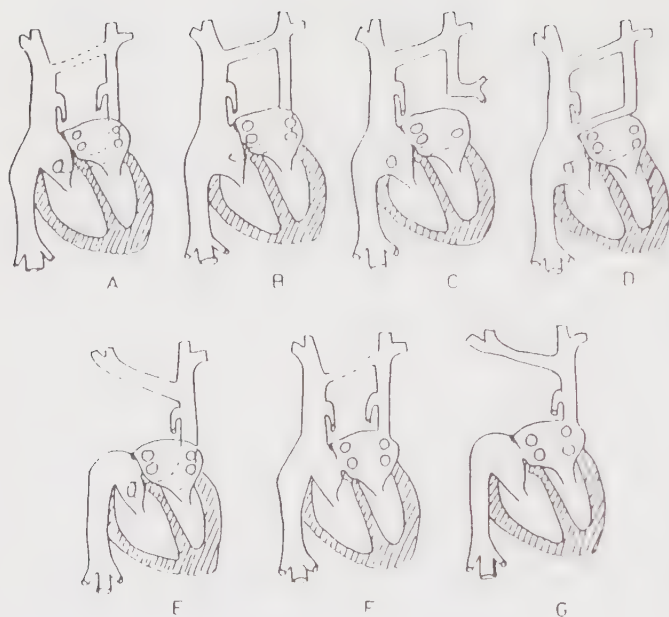


Abbildung 1:

Anomalien der oberen Hohlvenen

(modifiziert nach REICHENBACH (66)).

- A Doppelte obere Hohlvene, die links persistierende obere Hohlvene mündet in den Koronarsinus
- B Doppelte obere Hohlvene bei Atresie des Koronarsinustostiums

- C Partiiell persistierende linke obere Hohlvene
bei Fehlmündung der linken Oberlappen-Lun-
genvenen
- D Partiiell persistierende linke obere Hohlvene
bei Multiplizität der Vena brachiocephalica
sinistra
- E Isolierte links persistierende obere Hohl-
vene
- F Doppelte obere Hohlvene, die links persi-
stierende obere Hohlvene mündet in den lin-
ken Vorhof
- G Isolierte links persistierende obere Hohl-
vene mit Fehlmündung in den linken Vorhof

3. Häufigkeit einer LPSVC und Kombination mit kongenitalen Herzfehlern

Anomalien der großen Körpervenen sind keineswegs selten. Die mit Abstand häufigste klinisch bedeutsame Fehlbildung ist eine LPSVC.

In der Normalbevölkerung tritt sie mit einer Häufigkeit von 0,3 % bis 0,5 % auf (6, 21, 52, 70). Bei Patienten mit kongenitalen Herzfehlern jedoch findet sich eine LPSVC in 1 % bis 4 % der Fälle (6, 7, 21, 86). Bei dem Vorliegen einer Dextrokardie erhöht sich dieser Anteil auf bis zu 40 % (6,7).

Für diese Arbeit wurden sämtliche Herzkatheteruntersuchungen aus den Jahren 1976-1985 der kinder-kardiologischen Abteilung des Deutschen Herzzentrums München auf das Vorliegen einer LPSVC hin überprüft. In 110 Fällen der 4843 Patienten mit kongenitalen Herzfehlern konnte dabei eine LPSVC nachgewiesen werden. Die hieraus errechnete Häufigkeit von 2,2 % entspricht den in der Literatur angegebenen Werten.

Ist eine Vena cava superior auf der linken Seite ausgebildet, ist meist auch die rechte Vena cava superior vorhanden.

Sie kann jedoch auch fehlen. Bestehen zwei Hohlvenen, sind sie entweder gleich groß oder eine der beiden, meist die linke, ist etwas kleiner (57).

Bei 98,2 % unserer Patienten waren beide Vena cavae superiores ausgebildet. In zwei Fällen war nur die linke Vena cava superior angelegt.

Nach LEVAL (49) haben 75 % der Patienten mit einer doppelten oberen Hohlvene keine oder nur eine hypoplastische V. brachiocephalica sinistra.

Dies entspricht auch den Resultaten von WINTER (89), der nur bei 61 % eine V. brachiocephalica sinistra nachweisen konnte.

Liegt keine Dextrokardie vor und weist auch der viszerale Situs keine Abnormitäten auf, tritt die rechte Vena cava auf normalem Weg in das rechte Atrium ein und die linke Vena cava mündet über den Coronarsinus in den rechten Vorhof. Diesen Verlauf konnten wir bei 93,6 % (103) unserer Patienten beobachten.

Etwa 6 - 10 % der LPSVC münden in den linken Vorhof (21). Die beschriebene Fehlmündung in den linken Vorhof war bei 5 unserer Patienten nachzuweisen, was einer Häufigkeit von 4,5 % entspricht.

In einem Fall mündete die links persistierende Hohlvene in das linke Herzohr und in einem weiteren bestand eine direkte Verbindung mit der rechten Vena cava superior.

Eine LPSVC kann in Kombination mit fast allen kongenitalen Herzfehlern auftreten, wobei der Vorhofseptumdefekt nach der Literatur hierbei an erster Stelle zu nennen ist (21, 22, 50, 89).

Einen Vorhofseptumdefekt bzw. Endokardkissendefekt wiesen 21 Patienten auf (19 %), womit sich unsere Zahlen mit den Angaben in der Literatur decken. Die Häufigkeit des Auftretens einer LPSVC bei anderen kongenitalen Vitien entsprach in etwa der normalen Häufigkeit dieser Vitien.

Eine Zusammenstellung der prozentualen Verteilung der angeborenen Herzfehler, die in unserem Krankengut mit einer LPSVC assoziiert waren, sind untenstehender Tabelle zu entnehmen.

**Häufigkeit und Geschlechtsverteilung einer
LPSVC bei angeborenen Herzfehlern (n=110)**
(Abkürzungen siehe Anhang)

	weibl.	männl.	gesamt
VSD	12	6	18
TOF	3	13	16
CoA	7	5	12
TAPVC	1	1	2
PAPVC	0	1	1
TGA	6	1	7
SV	5	5	10
HOCM	1	0	1
CCAVC	10	6	16
DORV	4	7	11
Cor tria.	0	1	1
PA, VSD	1	1	2
TA	0	1	1
ASD II	2	3	5
MS	1	0	1
AoVS	1	0	1
PaVS	2	3	5
Dextr.	6	1	7

4. Klinische Auswirkungen durch das Vorliegen einer LPSVC

Die Diagnose einer LPSVC ist klinisch von Bedeutung. Patienten mit dieser Anomalie haben häufig Störungen des Reizleitungssystems. Ein ektooper Schrittmacher mit Koronarsinusrhythmus kann bei 70 bis 80 % der Patienten nachgewiesen werden (33).

Auch histopathologische Veränderungen des Sinus und AV-Knotens bei der Persistenz einer LPSVC sind beschrieben worden. Sie führten in zwei Fällen zu Reentry-Tachykardien mit tödlichem Ausgang (40). Bei Herzkatheteruntersuchungen können die Veränderungen des Reizleitungssystems ebenfalls zu Komplikationen führen. FRASER (21) berichtet, daß in 38 % der Fälle bei Patienten mit LPSVC eine supraventrikuläre Tachykardie während der Herzkatheteruntersuchung auftrat, gegenüber 7,9 % bei Patienten ohne Venenanomalie.

MC MICHAEL und MOUNSEY (51) erzeugten bei fünf Patienten retrosternale Schmerzen, die einer Angina pectoris glichen, als sie den dilatierten Coronarsinus bei einer LPSVC sondieren wollten.

Die richtige Einführung und Platzierung eines Herzschrittmachers kann bei einer isolierten links persistierenden Vena cava superior große Schwierigkeiten bereiten (34, 69). Die Trikuspidalklappe kann nur mit Mühe durch eine Drehung der Elektrode im rechten Atrium passiert werden (22). In solchen

Fällen ist eine Epikardelektrode besser geeignet (70).

Aber auch bei Herzkatheteruntersuchungen und dem Vorliegen einer LPSVC wird die Einführung des Katheters erschwert.

Am Zusammenfluß der linken Vena jugularis mit der linken Vena subclavia tritt häufig ein Passagehindernis auf (21). Der Eintritt in das rechte Atrium über den Coronarsinus kann außerdem zu Schwierigkeiten bei der Sondierung der Pulmonalarterien führen (7).

Ein weiteres Gefahrenmoment resultiert aus der Tatsache, daß neben der Vena cava superior auch die Koronarvenen in den Koronarsinus münden. Alle Manipulationen, die zu einer Thrombose der Vena cava und damit des Koronarsinus führen können, wie parenterale Ernährung über Cavakatheter oder Schrittmacherimplantation, sind hier wesentlich gefährlicher als bei einer normalen Vena cava und sollten deshalb vermieden werden (9).

In den letzten Jahren hat besonders auch in der Kardiovaskulären Chirurgie die Bedeutung des Nachweises einer LPSVC erheblich zugenommen.

Das unerwartete Vorhandensein dieser Anomalie kann schwerwiegende Folgen bei Operationen mit dem Herz-Lungen-Bypass oder bei extrakorporaler Zirkulation haben (49).

Falls der venöse Zufluß zum Herzen präoperativ nicht genau geklärt ist, kann es beim Vorliegen

einer LPSVC zu einem ausgedehnten Blutfluß in das rechte Atrium, einem fehlerhaften Rückfluß in die Herz-Lungen-Maschine und zur intrakardialen Shuntbildung kommen (22,49). Nach GENSINI (22) ist in diesem Fall die sofortige Einführung eines Katheterballons in den Koronarsinus notwendig.

Die Kanulierung der Venen kann den Operateur ebenfalls vor große Probleme stellen. Besonders bei einer zusätzlichen, isolierten Einmündung der Lebervenen kann die Kanulierung praktisch unmöglich werden. In diesem Fall ist nach JACOB (39) eine Operation in Hypothermie Methode der Wahl.

Auch bei der Korrektur einer Transposition der großen Arterien nach Mustard ist es wichtig zu wissen, ob eine LPSVC vorliegt, da die richtige Platzierung des "baffle" von der Lage der LPSVC abhängig ist (39,49).

Therapeutische Maßnahmen hinsichtlich dieser Venenanomalie sind jedoch trotz der oben angeführten Beeinträchtigung selten notwendig. Nur bei einer Fehlmündung der links persistierenden oberen Hohlvene in den linken Vorhof ist ein Eingriff indiziert.

Ist die Vena cava superior durch eine genügend große Vena brachiocephalica mit der Vena cava superior dextra verbunden, genügt eine Ligatur der LPSVC. Andernfalls muß das Blut der Vena cava superior über einen intraatrialen Conduit oder einen baffle umgeleitet werden.

Folglich sollte bei jeder Herzkatheteruntersuchung nicht nur das Vorhandensein einer LPSVC, sondern auch einer V. anonyma überprüft werden.

5. Möglichkeiten der Diagnose einer LPSVC

5.1. Elektrokardiogramm EKG

Mündet eine LPSVC in den Koronarsinus ein, wird dieser dilatiert. Die embryonalen Schrittmacherzellen des Herzens entspringen an der Verbindung der linken Kardinalvene und des linken Sinushorns, dem späteren Koronarsinus. Da der AV-Knoten und der Sinusknoten an derselben Stelle ihren Ursprung haben, ist es möglich, daß durch den erweiterten Koronarsinus die Lage und auch die histologische Beschaffenheit beider Schrittmacherzentren verändert wird (40).

Einige Autoren haben bei einer LPSVC folgende elektrokardiographischen Befunde erhoben:

Einen Koronarsinusrhythmus mit einem positiven p in Ableitung II und III fanden HANCOCK (33), LENOX (48) und MOMMA (53). MOMMA und LINDE (53) haben außerdem bei 50 % ihrer Patienten mit LPSVC eine Linksachse der p-Welle zwischen 15 und 29 Grad nachgewiesen. BJERREGARD (6) fand bei 35 % seiner Patienten mit LPSVC diese Anomalie.

5. 2. Jugularvenenpulskurve

Die klinische Verdachtsdiagnose einer LPSVC kann auch durch das Beobachten der Jugularvenenpulse erhoben werden. Der rechte Jugularpuls ist normalerweise betonter. Wenn jedoch die linke Jugularvenenamplitude vergrößert ist und es keinen Anhalt für eine Obstruktion der Vene gibt, sollte nach HORWITZ (37) und COLMAN (11) eine LPSVC in Betracht gezogen werden.

5.3. Röntgen

Die LPSVC kann sich im posterior-anterioren Strahlengang als Schatten darstellen, der vom Aortenbogen aufsteigend bis zur linken Clavicula reicht, oder als streifenförmige Verschattung entlang des linken oberen Herzrandes (8,21).

Allerdings kann bei Kindern infolge des breiten Mediastinalschattens keine Aussage getroffen werden.

GENISINI (22) et al. haben anhand von Thoraxröntgenaufnahmen die Weite des Gefäßschattens in Höhe der dritten Rippe ausgemessen und zum Thoraxdurchmesser ins Verhältnis gesetzt. Es wurde dann ein Vergleich von Patienten mit einer LPSVC und einer Kontrollgruppe geführt. Dabei ergab sich ein signifikanter Unterschied, der aber nur bei 27 % der Patienten mit LPSVC nachzuweisen war.

5.4. Herzkatheteruntersuchung und Angiographie

Die bis heute sichersten Methoden zum Nachweis einer LPSVC sind die Herzkatheteruntersuchung und die angiographische Darstellung.

Die besonderen Probleme der Herzkatheteruntersuchung bei Persistenz einer linken Vena cava superior wurden bereits im vorangegangenen Abschnitt erwähnt. Auch bei Herzkatheteruntersuchungen bei Patienten ohne LPSVC sind die Zwischenfälle, verursacht durch Rhythmusstörungen und insbesondere Kontrastmittelunverträglichkeiten, nach der multizentrischen Studie von SHEHADI und TONIOLO mit ungefähr 4,7 % anzusetzen (77).

Aus den genannten Gründen ist es deshalb von Vorteil eine Methode anzuwenden, die den invasiven Eingriffen an Treffsicherheit nicht nachsteht und trotzdem keine Risiken für den Patienten birgt. Aus diesen Gründen haben wir versucht, eine LPSVC mit Hilfe der Echokardiographie darzustellen. Im folgenden wird auf die Methoden und Möglichkeiten der Ultraschall Diagnostik näher eingegangen.

6. Grundlagen der Echokardiographie

Während der letzten Jahre hat die Echokardiographie in der kardiologischen Diagnostik einen weiten Anwendungsbereich gefunden. Die Gründe sind die Nichtinvasivität, die leichte Durchführbarkeit und Reproduzierbarkeit.

Kongenitale Herzerkrankungen werden trotzdem immer noch mit invasiven und risikoreichen Methoden, wie Herzkatheterisierung und Angiokardiographie, diagnostiziert. Diese Arbeit soll zeigen, daß es auch mit Hilfe der Echokardiographie möglich ist, Mißbildungen am Herzen mit der gleichen Treffsicherheit und Aussagekraft zu diagnostizieren wie mit den bisher angewandten invasiven Methoden.

Bereits 1950 wurde von KEIDEL (41) das menschliche Herz beschallt. Aber erst seit den Arbeiten von FEIGENBAUM (15), der 10 Jahre später mit empfindlicheren Geräten einen Perikarderguß nachweisen konnte, fand die Echokardiographie eine breitere Anwendung in der kardiologischen Diagnostik. Die damals verwendete eindimensionale Abbildung des Herzens, das M-Mode-Verfahren, lieferte Bilder in einer schwer verständlichen Form, die eine räumliche Orientierung nur bedingt ermöglichten.

Die ersten Arbeiten über zweidimensionale Echokardiographie erschienen Ende der sechziger Jahre. 1969 gelang es GRAMIAK (26) mit Hilfe eines Kontrastmittels (Indozyanin grün) bisher fragliche echokardiographische Strukturen den anatomischen Strukturen des Herzens genau zuzuordnen. Damit hielt die Echokardiographie ihren Einzug in den kardiologischen Vorfelddiagnostik.

6.1. Physikalische Grundlagen des Ultraschalls (nach Pfannenstiel et al. (62))

Das Ultraschall-Impuls-Echo-Verfahren in der Medizin beruht auf dem Verhalten von hochfrequenten Schallwellen (= Ultraschall) im menschlichen Körper. Sie werden vom Schallkopf gebündelt als kurzes Wellenpaket bzw. als kurzer Wellenzug (= in diesem Zusammenhang "Impuls") in den Körper geschickt. Im Körper wird ein Teil des Ultraschallimpulses an bestimmten Grenzflächen - sowohl zwischen zwei Organen als auch an Grenzflächen innerhalb eines Organs - reflektiert und wandert mit Schallgeschwindigkeit zum Schallkopf zurück (=Echo). Der in der Regel größere Teil dringt mit Schallgeschwindigkeit in die tieferliegenden Gewebeschichten vor, wo sich an der nächsten Grenzfläche der gleiche Vorgang wiederholt.

Die Echos aus den räumlich hintereinanderliegenden Grenzflächen treffen auch zeitlich versetzt am Schallkopf ein. Da die Schallgeschwindigkeit mit etwa 1500 m/sec für alle Weichteilgewebe annähernd gleich groß ist, kann aus dem zeitlichen Eintreffen der Echos eine annähernde Tiefenzuordnung erfolgen.

Ultraschallschwingungen

Unter einer mechanischen Schwingung versteht man ein rhythmisches Hin- und Herpendeln eines Körpers um seine Ruhelage. Zur Erzeugung von Ultraschallschwingungen wird die Oberfläche einer Scheibe

oder eines rechteckigen bzw. quadratischen Plättchens mit hoher Frequenz hin und her bewegt. In der medizinischen Anwendung werden diese hochfrequenten Schwingungen derzeit durch piezoelektrische Wandler erzeugt, deren Prinzipien von Curie 1880 und 1881 entdeckt wurden.

Wird an ein piezoelektrisches Element ein elektrisches Feld angelegt, so erfolgt je nach Polung eine positive oder negative Dickenänderung, die der angelegten Spannung proportional ist.

Andererseits erfolgt auf der Oberfläche des piezoelektrischen Elements eine Spannung, wenn das piezoelektrische Element eine Deformierung erfährt.

Bei Anlage einer Wechselspannung erfolgt die Dickenänderung des piezoelektrischen Elements im Takte der sinusförmigen Wechselspannung.

Beim Impuls-Echo-Verfahren wird wegen der gewünschten guten axialen Auflösung ein möglichst kurzer Impuls angestrebt. Durch einen kurzzeitig angelegten elektrischen Spannungsstoß führt die Oberfläche des piezoelektrischen Elements Schwingungen durch, die durch einen hinter dem piezoelektrischen Element liegenden Dämpfungskörper sehr schnell wieder zum Abklingen gebracht werden.

Im folgenden sollen die für das Verständnis des Ultraschallverfahrens notwendigen physikalischen Begriffe erläutert werden:

Schwingungsdauer:

Hierunter versteht man die Anzahl der Zeiteinheiten (z. B. in Sekunden) für eine Schwingung. Die übliche Bezeichnung ist T .

Frequenz:

Hierunter versteht man die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit (1 Hertz entspricht 1 Schwingung pro Sekunde). Die übliche Bezeichnung ist f .

Beim Ultraschall-Impuls-Echo-Verfahren in der Medizin werden Frequenzen zwischen 1 und 10 MHz verwendet.

Wird an das piezoelektrische Element eine (sinusförmige) Wechselspannung angelegt, so ist die Schwingfrequenz des piezoelektrischen Elements gleich der Frequenz der angelegten Wechselspannung. Wird an das piezoelektrische Element jedoch nur ein Spannungsstoß gegeben, so entstehen Schwingungen, deren Nennfrequenz von den physikalischen Eigenschaften des piezoelektrischen Elements und dessen Dicke abhängt.

Auslenkung

Hierunter versteht man den Abstand y , den ein schwingender Körper - im vorgegebenen Fall die Oberfläche des piezoelektrischen Elements - zum Zeitpunkt t_0 von seiner Mittel- oder Ruhelage hat.

Schwinggeschwindigkeit (Teilchengeschwindigkeit)

Hierunter versteht man die momentane Geschwindigkeit v , mit der sich ein schwingender Körper - im vorgegebenen Fall die Oberfläche des piezoelektrischen Elements - zum Zeitpunkt t_0 bewegt. Von der später erläuterten Schallausbreitungsgeschwindigkeit ist sie streng auseinanderzuhalten.

Wellen

Während als mechanische Schwingungen die periodischen Bewegungen eines Körpers um eine Ruhelage bezeichnet werden - der schwingende Körper also an eine bestimmte Stelle des Raumes gebunden ist - wird bei einer Welle darüberhinaus eine Schwingung eines Körpers oder Teilchens auf die Nachbarteilchen übertragen. Es ist also ein Medium erforderlich. Schall kann sich im Vakuum nicht ausbreiten.

Wellenlänge

Als Wellenlänge λ wird die Strecke bezeichnet, die die Welle während der Zeitdauer einer kompletten Schwingung eines Teilchens des Mediums zurückgelegt hat. Da der zurückgelegte Weg pro Zeit als Geschwindigkeit - bei Schall als Schall(ausbreitungs)geschwindigkeit c - definiert ist, gilt

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad \text{Wellenlänge} \quad \text{Schwingungsdauer} \quad \text{oder auch, da } T = \frac{1}{f} \text{ ist,}$$

$$c = \lambda \times f = \text{Wellenlänge} \times \text{Frequenz.}$$

Da die Schallausbreitungsgeschwindigkeit im menschlichen Weichteilgewebe bei ca. 1500 m/sec liegt, ergeben sich im Weichteilgewebe Wellenlängen von etwa:

1,0 mm bei 1,5 MHz
0,5 mm bei 3,0 MHz
0,25 mm bei 6,0 MHz etc.

Schall(ausbreitungs)geschwindigkeit

Die Schallausbreitungsgeschwindigkeit hängt nur vom Ausbreitungsmedium und nicht von der Frequenz ab. So hat auch der normale Hörschall mit Frequenzen bis zu 20 kHz die gleiche Schallgeschwindigkeit wie der Ultraschall, der per Definition ab 20 kHz beginnt.

Theoretisch ergibt sich:

feste Körper: $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ E = Elastizitätsmodul
 ρ = Dichte

Flüssigkeit: $c = \sqrt{\frac{1}{\alpha \cdot \rho}}$ α = Kompressibilitätskoeffizient
($\frac{1}{\alpha}$ entspricht $\frac{E}{1}$)

E bzw. $\frac{1}{\alpha}$ ist ein Maß für den Widerstand gegen durch Druck oder Zug verursachte Verformung.

Menschliches Gewebe verhält sich mit Ausnahme von Knochen wie eine zähe Flüssigkeit. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschalls beträgt im Weichteilgewebe zwischen 1450 und 1600 m/sec, im Knochen zwischen 2500 und 4000 m/sec.

Bei den meisten Ultraschallgeräten wird mit einer mittleren Schallgeschwindigkeit von 1540 m/sec. gerechnet, so daß bei tatsächlich vorhandener höherer Schallgeschwindigkeit das Organ zu klein, bei tatsächlich vorhandener geringerer Schallgeschwindigkeit das Organ zu groß abgebildet wird.

Schallwechseldruck:

Das vom Schall erfaßte Medium wird abwechselnd komprimiert (zusammengedrückt) und dilatiert (auseinandergezogen). Der hierbei auftretende Druck beträgt $p = \rho \cdot c \cdot v$

ρ = Dichte

c = Schallausbreitungsgeschwindigkeit

v = Teilchengeschwindigkeit

Dieser Schallwechseldruck wird dem normalen Druck im Gewebe überlagert.

Schallwellenwiderstand = Impedanz

In der obigen Gleichung sind die Dichte und die Schall(ausbreitungs)geschwindigkeit c Konstanten in einem homogenen Medium. Folglich ist auch das Produkt $\rho \cdot c = \left(\frac{p}{v} \right)$ eine Konstante, die als Schallwellenwiderstand oder Impedanz bezeichnet wird.

Medium	Dichte	Schallwellen- geschwindigkeit	Impedanz
	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{m}}{\text{sec}}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ sec}}$
Luft	1,2	330	396
Wasser	1000	1480	$1,48 \cdot 10^6$
Blut	1060	1528	$1,62 \cdot 10^6$

Innerhalb inhomogener Medien, wie Weichteilgewebe bestehend aus Parenchym, Bindegewebe, Gefäßen etc., verändern sich deren Dichten und Schallgeschwindigkeiten dauernd, so daß auch für die Impedanzen der einzelnen "Weichteilorgane" nur Durchschnittswerte angegeben werden können, die in der Größenordnung von $1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ sec}}$ liegen.

Schallintensität (Leistungsdichte, Schallstärke)

Hierunter versteht man die Schalleistung (=Schallenergie pro Zeit) pro Fläche. Bei Beurteilung von Nebenwirkungen der Ultraschalldiagnostik wird die Schallintensität als verantwortliche Größe betrachtet.

Intensitätsabnahme - Absorption

Die Intensität des Schallimpulses nimmt mit der Wegstrecke exponentiell ab. Der Abfall der Intensität wird üblicherweise in "decibel" (dB) angegeben. Ursache des Intensitätsabfalls ist u. a. Absorption (=Umwandlung von Schallenergie in Wärme), Reflexion, Streuung und die Aufweiterung des Schallfeldes.

Bei der bildlichen Darstellung der Echos wird der Intensitätsabfall durch den sogenannten Tiefenausgleich berücksichtigt, d.h. später eintreffende Echos, die eine größere Wegstrecke zurückgelegt haben, werden mehr verstärkt als früher eintreffende.

Innerhalb vieler Flüssigkeiten ist die Absorption vernachlässigbar gering, so daß die Schallintensität z. B. hinter einer Zyste fast gleich stark ist wie davor. Durch den Tiefenausgleich werden daher die Echos hinter einer Zyste verstärkt dargestellt (= sog. Schallverstärkung hinter Zysten).

Schallwellen an Grenzflächen

Das Verhalten des Schallimpulses an Grenzflächen bildet die Grundlage des Impuls-Echo-Verfahrens. Nur der zum Schallkopf reflektierte Teil des eingestrahnten Schallimpulses kann Träger der weiteren Information sein.

Reflexion und Brechung

Im oberen Teil der Abb. 2 ist das Reflexionsverhalten des schräg auf eine glatte Grenzfläche auftreffenden Schallimpulses dargestellt. Die neue Wellenrichtung ergibt sich nach dem Reflexionsgesetz zum Einfallswinkel α_1 = Ausfallwinkel α_2 .

Im unteren Teil der Abb. 2 ist das Verhalten des die Grenzfläche durchdringenden Anteils des Schallimpulses dargestellt. Die neue Wellenrichtung ist nach dem Brechungsgesetz nur von der Schallausbreitungsgeschwindigkeiten vor und hinter der Grenzfläche abhängig.

Während für die örtliche Zuordnung der Echos auf dem Monitor von einem geradlinigen Schallstrahl mit konstanter Geschwindigkeit ausgegangen werden muß, wird der Schallimpuls durch Brechung abgelenkt. Da die Schallgeschwindigkeit in Weichteilgeweben nur wenig voneinander differieren, bleibt der Fehler bei der Ortsinformation der auf dem Monitor dargestellten Echos - sowohl was die Tiefenzuordnung als auch was die seitliche Abweichung infolge Berechnung betrifft - klein.

Streuung

Schräg auf eine glatte Grenzfläche auftreffende Schallwellen unterliegen dem Reflexionsgesetz. So kann der Schallkopf in Abhängigkeit vom Neigungswinkel der Grenzfläche und deren Abstand die reflektierten Schallwellen evtl. nicht mehr erfassen. Das Verhalten der Ultraschallwelle beim Auftreffen auf Grenzflächen, deren Ausdehnung klein

gegen die Ultraschall-Wellenlänge sind, kann nicht mit den Gesetzen der Reflexion beschrieben werden. Die Grenzfläche muß in diesem Fall als Quelle kleiner Kugelwellen angesehen werden.

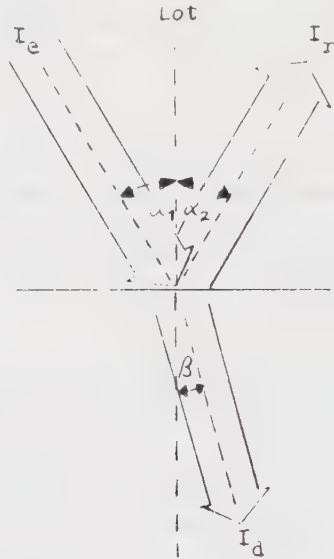


Abbildung 2:

Reflexion und Brechung des Schallstrahls an Grenzflächen (nach Pfannenstiel et al. (62))

$$\alpha_1 = \alpha_2 ; \quad \sin \beta = \frac{c_2}{c_1} \cdot \sin \alpha_1$$

Echostärke

Das Reflexionsgesetz und das Brechungsgesetz beschreiben lediglich die Ablenkung von der geradlinigen Ausbreitung des Schallimpulses. Für die Betrachtung, wieviel Prozent der Intensität der ankommenden Schallwelle an der Grenzfläche reflek-

tiert und wieviel Prozent in das hinter der Grenzfläche liegende Medium eindringen, gelten die erstmals von Rayleigh hergeleiteten Beziehungen, die in Abb. 3 für einen senkrecht auf die Grenzfläche auftreffenden Schallimpuls dargestellt sind. Das Echo an einer Grenzfläche ist umso größer, je mehr sich die Impedanzen vor und hinter der Grenzfläche unterscheiden (= Impedanzsprung).

An der Grenzfläche zwischen Weichteilgewebe und Luft ergibt sich aus den um den Faktor 5000 differierenden Impedanzen eine Totalreflexion. Ebenfalls hoch ist die Reflexion zwischen Weichteilgewebe und Knochen oder Kalk.

Die Echos innerhalb von Organen (= Binnenechos) ergeben die sonographische Struktur eines Organs. Die Echos an den Grenzflächen zwischen zwei Organen ergeben zusammen mit den organspezifischen Strukturechos die Konturen eines Organs.

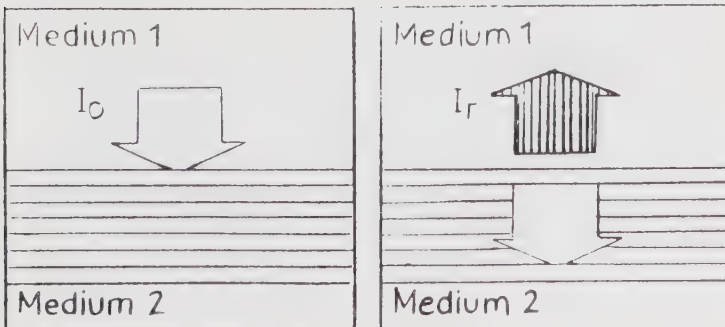


Abbildung 3:
Schallimpuls an den Grenzflächen
(nach Pfannenstiel et al. 62))

Auf dem linken Bild der Abb. 3 hat der Schallimpuls die Grenzfläche gerade erreicht. Auf dem rechten Bild der Abb. 3 ist ein Teil des Impulses an der Grenzfläche reflektiert worden, der andere Teil dringt in das Medium 2 ein.

Die Auflösung beim Ultraschall-Impuls-Echo-Verfahren

Anschaulich ausgedrückt versteht man unter der Auflösung "den Abstand zweier Grenzflächen, die von einem Ultraschallgerät noch getrennt wahrgenommen werden können". Als Maßzahl wird der Amplitudenabfall zwischen den beiden Echos genommen, der eine gewisse Größe (z.B. 3 dB) bezogen auf die Maximalamplitude haben muß.

Liegen die Grenzflächen hintereinander - also auf der Achse des Schallstrahls - so spricht man von axialer Auflösung. Synonym hierfür gebräuchlich sind Tiefenauflösung oder longitudinale Auflösung. Die axiale Auflösung wird durch die Länge des Ultraschallimpulses festgelegt.

Liegen die Grenzflächen oder Reflektoren nebeneinander - also senkrecht zur Achse des Schallstrahls - so spricht man von seitlicher Auflösung. Synonym hierfür gebräuchlich sind laterale Auflösung oder Querauflösung. Die laterale Auflösung ist von der Breite der Schallkeule, d. h. von der Breite des durch die Schallwelle erregten Mediums abhängig.

Das Schallfeld ist durch die Anwendung des HUYGENS-FRESNEL'SCHEN Prinzips zu erklären, nachdem jeder Punkt der Schwingoberfläche Ausgangspunkt einer Kugelwelle ist und die Erregung an einer Stelle im Schallfeld sich aus den Überlagerungen (= Interferenzen) aller von den verschiedenen Punkten ausgehenden Elementarwellen ergibt.

Das Nahfeld (= Fresnel-Zone)

Die Interferenzen sind in unmittelbarer Nähe des Schallkopfes am ausgeprägtesten, so daß sich hier Intensitätsmaxima mit Nullstellen abwechseln. Das letzte Maximum auf der Strahlenachse ergibt den Übergang zum Fernfeld.

Das Fernfeld (= Fraunhofer-Zone)

Im Anschluß an das Nahfeld beginnt das sich aufweitende Fernfeld. Hier nimmt die Intensität (= Schalleistung pro Fläche) auch ohne vorhandene Absorption ab, da das Schallbündel eine größere Fläche durchstrahlt und damit die Schalleistung pro Fläche abnimmt. Am Ende des Nahfeldes hat der Durchmesser des Impulses seinen kleinsten Wert. Die laterale Auflösung ist hier am besten. Um eine noch bessere Einschnürung zu erzielen, ergibt sich die Möglichkeit der Fokussierung durch gekrümmte Schwinger, akustische Linsen und elektronischer Fokussierung von "arrays".

6.2. Die bildliche Darstellung der Echowellen

Nur die zum Schallkopf zurückkommenden Echos können beim Impuls-Echo-Verfahren Träger der weiteren Information sein. Während der reziproke piezoelektrische Effekt der Schallerzeugung dient, kann dasselbe piezoelektrische Element aufgrund des direkten piezoelektrischen Effekts auch zum Empfangen von Ultraschall benützt werden: Der Schallimpuls bewirkt durch seinen Schallwechseldruck eine Kompression und Dilatation des piezoelektrischen Elements mit hieraus resultierendem Auftreten von elektrischen Spannungen. Diese resultierenden elektrischen Spannungen werden tiefenabhängig verstärkt und amplituden- oder helligkeitsmoduliert auf einer Oszillographenröhre oder einem Video-Bildschirm dargestellt.

6.3. Apparative Voraussetzungen für die Sonographie

Die in der Medizin angewandten Ultraschallverfahren können in mehrere Gruppen aufgeteilt werden. Je nach Darstellungsart dieser vom Gewebe reflektierten Signale unterscheidet man:

A-Scan (Amplituden-Scan), bei dem die Echos amplitudenmoduliert über der Ausbreitungszeit ausgetragen werden. Die Amplitude des Signales entspricht hierbei der Stärke des empfangenen Echos.

B-Scan (Brightness-Scan). Die Echos werden helligkeits-moduliert über der Ausbreitungszeit ausgetragen. Je stärker das Echo ist, desto heller wird es dargestellt.

Time-motion-Bild, bei dem der ortsfeste B-Scan über der Untersuchungszeit aufgetragen wird. Hierdurch können Bewegungsabläufe, z.B. der Pulsschlag, im Körper dargestellt werden.

Es lassen sich grundsätzlich drei Gerätetypen unterscheiden:

1. der mechanische Sektorscanner
2. der elektronische Sektorscanner
(phased array system)
3. das Multielementsystem (linear array)

Die mechanischen Sektorscanner bestehen aus einzelnen oder mehreren Kistallen, die mit Hilfe eines Elektromotors einen Winkel von 30 bis 60 Grad abtasten.

Dieses System ist relativ preisgünstig und liefert Bilder von guter Qualität. Durch den verhältnismäßig kleinen Schallkopf besteht die Möglichkeit, das akustische Fenster im Mediastinalbereich voll zu nutzen (29,83). Nachteilig wirken sich relativ enge Winkel und vor allem die laute Mechanik und Vibration aus, die besonders Neugeborene und Säug-

linge irritiert. Seit einiger Zeit gibt es auch Weitwinkeltransducer (80-90 Grad) mit multiplen, rotierenden Kristallen, die die laute Mechanik nicht mehr aufweisen.

Die elektronischen Sektorscanner arbeiten mit phasisch gesteuerten Elementen. Sie erreichen einen Winkel bis zu 90 Grad und eine vergleichbare Qualität in der Abbildung wie die mechanischen Scanner. Er werden hierbei 20 oder mehr Einzelelemente linear angeordnet, die elektronisch gesteuert der Reihe nach mit zeitlicher Verzögerung senden, so daß eine im Winkel zum Schallkopf verlaufende Schallwellenfront entsteht (phased array system).

Das Multielementsystem hat sich vor allem wegen des schlechteren Auflösungsvermögens und der großen Auflagefläche des Schallkopfes in der pädiatrischen Kardiologie nicht bewährt.

6.4. Untersuchungstechnik in der zweidimensionalen Echokardiographie

Man unterscheidet 4 Transducerpositionen:

I. parasternale

II. apikale

III. subcostale

IV. suprasternale, zweidimensionale Echokardiographie

Die entstehenden Schnittbilder können bei den ersten drei Positionen in der Längs- und Querachse des Herzens aufgenommen werden. Die suprasternale Position ermöglicht die Abbildung der großen Gefäße (Aorta, Vena cava superior, Arteria pulmonalis) (nach Tajik et al. (83))

6.4.1. Parasternale Echokardiographie

Der Transducerkopf wird bei dieser Einstellung in den 3. bis 4. Intercostalraum links aufgesetzt. Der Patient befindet sich in Rückenlage. Es können sowohl die Längs- als auch Querachse beurteilt werden.

6.4.1.1. Parasternale Längsachse

Der Schallstrahl verläuft parallel einer Ebene, die von der rechten Schulter zur linken Hüfte reicht. Der Schnitt entspricht einem Längsschnitt durch den linken Ventrikel und die Aorta.

Die Aorta erscheint dabei auf der rechten Bildseite, die Herzspitze links, die vordere Thoraxwand und der rechte Ventrikel oben und der linke Ventrikel sowie der linke Vorhof hinten.

Der Längsachsenschnitt erlaubt die Darstellung der Aortenwurzel und der Aortenklappe. Die Segel der Aortenklappe erscheinen dünn und legen sich während der Diastole aneinander. Bei Beginn der Systole öffnen sie sich plötzlich und kommen bei maximaler Öffnung parallel der Aortenwand zum Stehen. Der rechtsventrikuläre Ausflußtrakt ist vor der Aortenwurzel gelegen. Hinter dieser Struktur liegt der linke Vorhof. Normalerweise kann auch die linke untere Pulmonalvene als runde Struktur hinter dem unteren Teil des linken Atriums erkannt werden. Im linken Ventrikel erkennt man die beiden Segel der Mitralklappe, wobei das anteriore länger und größer ist. Mit dem Einsatz der Diastole legt sich das distale Drittel des anterioren Segels in Richtung interventrikuläres Septum und bewegt sich dann in eine mittlere, geöffnete Stellung. Während der Middiastole öffnet es sich wieder komplett mit der Vorhofsystole. Das posteriore Segel bewegt sich dabei spiegelbildlich mit deutlich geringerer Exkursion. Während der Systole legen sich die Segel aneinander und zeigen dabei zur Herzspitze.

Der Koronarsinus erscheint als kleine zirkuläre Struktur im Bereich des posterioren atrioventrikulären Obergangs. Der linksventrikuläre Ausflußtrakt wird begrenzt vom Ventrikelseptum und dem anterioren Mitralsegel. Er ist während der Ventrikelsystole weit. Das Ventrikelseptum kann gewöhnlich in seiner Gesamtheit gesehen werden mit charakteristischer Bewegung: Normalerweise bewegt es sich posterior während der Ventrikelsystole, wäh-

rend sich die linksventrikuläre Hinterwand dem Septum entgegen bewegt; umgekehrt während der Ventrikeldiastole.

Die normale anatomische Beziehung, nämlich eine Kontinuität zwischen interventrikulärem Septum und Vorderwand der Aorta sowie zwischen vorderem Mitralsegel und Hinterwand der Aorta, ist direkt erkennbar.

Diagnostische Möglichkeiten der parasternalen Längsachse:

1. Bewertung der Aortenwurzelpathologie, insbesondere eine Vergrößerung und eine Dissektion
2. Bewertung der Aortenklappenpathologie mit Kalzifizierung, Stenose, Vegetationen
3. Bewertung einer subvalvulären, linksventrikulären Ausflußtraktobstruktion (muskulär oder membranös)
4. Bewertung der linksventrikulären Größe und Funktion
5. Bestimmung der interventrikulären Septum- und linksventrikulären Hinterwandbewegung (Exkursion, Verdickung und Funktion)
6. Direkte Erkennung von Ventrikelseptumdefekten und Septumaneurysmen

7. Bestimmung der Kontinuität bzw. Diskontinuität von Aortenvorderwand und interventrikulärem Septum bzw. Aortenhinterwand und vorderem Mitralsegel
8. Bewertung von Struktur und Bewegungsanomalien der Mitralklappe und ihrer angrenzenden Struktur, z. B. die Chordae und Papillarmuskeln, insbesondere Stenosierung, subvalvuläre, valvuläre Klappenringverkalkungen, Segelprolaps- und -abrisse, Vegetationen, diastolisches Flattern und systolische, anteriore Bewegung
9. Bestimmung der Vergrößerung des Koronarsinus, z. B. bei Patienten mit abnormaler, systemvenöser oder pulmonalvenöser Verbindung zum Koronarsinus
10. Bewertung der Vorhofverkleinerung oder Vergrößerung und Entdeckung von intraatrialen Massen, z.B. Thromben oder Myxome oder supravulvuläre Membranen

Rechtsventrikulärer Einflußtrakt

Der Schallkopf wird von links parasternal nach inferior median gekippt und leicht im Uhrzeigersinn gedreht. Auf diese Weise ist die Längsachse des rechten Ventrikels und des rechten Vorhofs darstellbar. Der rechte Vorhof ist dabei rechts posterior und die Spitze des rechten Ventrikels anterior und links. Dazwischen liegt die Trikuspi-

dalklappe und der rechtsventrikuläre Einflußtrakt. Position und Bewegung der Trikuspidalklappe kann gut eingesehen werden. Wie beim anterioren Mitralsegel ist das anteriore Trikuspidalsegel größer als das posteriore.

Längsachse des rechtsventrikulären Ausflußtraktes

Die Längsachse des rechtsventrikulären Ausflußtraktes kann durch Transducerposition, nach wie vor parasternal, links mit weiterer Drehung im Uhrzeigersinn und leichter Kippung nach superior erreicht werden. Jetzt läuft die Schallebene nahezu zur echten Sagittalebene. Der rechte Ventrikel ist anterior gelegen und der linke posterior.

Die Pulmonalklappe wird rechts im Bild registriert mit dem rechtsventrikulären Ausflußtrakt anterior und einem schrägen Anschnitt des linken Ventrikels posterior. Dieses Schnittbild erlaubt eine Gesamtansicht des rechtsventrikulären Ausflußtraktes und der Pulmonalklappe mit dem Pulmonalishauptstamm.

Mit den Schnittbildern der Längsachse des rechtsventrikulären Ein- und Ausflußtraktes kann man folgendes beurteilen:

1. Die Vergrößerung des rechten Vorhofes und des rechten Ventrikels
2. Massen in diesem Bereich

3. Bewertung des rechtsventrikulären Ausflußtraktes
4. Bewertung von Trikuspidalabnormitäten, wie z. B. Prolaps, abgerissene Chordae, Stenose und Vegetationen
5. Bewertung einer Trikuspidalatresie
6. Diagnose einer Ebstein'schen Anomalie
7. Bewertung von Pulmonalklappenanomalien

Längsachse des rechtsventrikulären und linksventrikulären Einflußtraktes

Diese Registrierung gelingt in der Regel vom 4. ICR links parasternal aus, wobei der Schallkopf etwas mehr lateral plaziert wird. Dabei wird der Schallkopf etwas nach superior gekippt. Von hier aus ist der 4-Kammerblick des Herzens, nämlich beide Vorhöfe und beide Ventrikel, sichtbar. Da der Schallkopf dicht über der Herzspitze aufgesetzt ist, erscheinen beide Ventrikel verkürzt. Die Einflußtrakte beider Ventrikel sind gleichzeitig sichtbar. Dabei liegen die Vorhöfe posterior, die Ventrikel anterior. Nach Standardisierungsempfehlungen sollte der linke Ventrikel und der linke Vorhof rechts, rechter Ventrikel und rechter Vorhof links abgebildet werden. Auch die Längsachse des Vorhofseptums kann beurteilt werden, wobei gelegentlich Echowerte bzw. Verdünnungen im Be-

reich der Fossa ovalis zu erkennen sind. Bewegungscharakteristiken des Vorhofseptums können beurteilt werden. Normalerweise wölbt sich das Vorhofseptum während der Ventrikelsystole zum rechten Vorhof hin und diastolisch umgekehrt.

6.4.1.2. Parasternale kurze Achse

Hierbei wird der Schallkopf, ausgehend von der parasternalen Längsachse um 90 Grad, im Uhrzeigersinn gedreht, so daß jetzt horizontale Bilder des Herzens und seiner Gefäße entstehen. Hiermit kann man Schnittbilder der Herzspitze, der Papillarmuskeln, der Mitralklappe sowie der Aorta und Pulmonalarterie darstellen.

Dabei läßt sich die Herzspitze durch Aufsetzen des Transducers mit maximalem Herzspitzenstoß darstellen. Durch leichte Verschiebung des Transducers kranialwärts bzw. durch superiore Kippung kann man die Ebene der Paillarmuskeln darstellen. Der antero-laterale und postero-mediane ist etwa in 3- bzw. 8-Uhrstellung in der linksventrikulären Schnittfläche sichtbar. Der linke Ventrikel erscheint in seiner Schnittebene zirkulär, so daß auch seine Dicke und Bewegung, d. h. systolische Verkleinerung und diastolische Erweiterung, beurteilt werden kann. Die Ebene der Mitralklappe erscheint durch weitere kranialwärtige Verschiebung des Schallkopfes. Die Mitralklappe hat bei ihrer Öffnung Ähnlichkeit mit einem Fischmaul, wobei sich das anteriore Mitralsegel nach vorne und das

posteriore nach hinten bewegt. Teile des rechten Ventrikels, des Trikuspidalklappenapparates und des linksventrikulären Ausflußtraktes werden im anterioren und linksseitigen Bereich des Bildes sichtbar. Gelingt es, die Trikuspidalklappe darzustellen, so sieht diese in der Öffnungsphase wie ein Dreieck mit abgerundeten Ecken aus. Auch das Moderatorband und der anteriore Papillarmuskel können erkannt werden, speziell dann, wenn der rechte Ventrikel hypertrophiert ist.

Linksventrikulärer Ausflußtrakt

Durch weitere Kippung des Schallkopfes nach superior und leichter medianer Drehung des Schallkopfes entsteht ein Schnitt in Höhe des linksventrikulären Ausflußtraktes. Hierbei wird das anteriore Mitralsegel und die Ausflußbahn beider Ventrikel erkennbar.

Die Grenze des linksventrikulären Ausflußtraktes, insbesondere des Ventrikelseptums der antero-lateralen Wand und des anterioren Mitralsegels sind deutlich zu sehen. Auf der linken Bildseite ist der rechte Vorhof zu sehen sowie der rechte Ventrikel mit Anteilen des anterioren Trikuspidalsegels. Interponiert zwischen beide AV-Klappen liegt das Ventrikelseptum posterior. Der linke Vorhof ist ebenfalls posterior erkennbar.

Große Gefäße

Durch weitere Verschiebung des Schallkopfes nach superior entsteht ein Schnitt horizontal durch die großen Gefäße. Normalerweise erscheint die Aorta als kreisförmige Struktur mit drei Segeln, welche diastolisch wie ein "Y" aussehen. Der rechtsventrikuläre Ausflußtrakt liegt vor der Aorta und zieht von links nach rechts, indem er sich um die Aorta windet. Die Pulmonalklappe liegt anterior und rechts von der Aortenklappe. Das linke Atrium liegt hinter der Aorta und das linke Herzohr rechts und der rechte Vorhof auf der linken Bildseite. Das Vorhofseptum ist zwischen den beiden Vorhöfen erkennbar. Der Ursprung der rechten und der linken Koronararterie kann ebenso identifiziert werden. Das anteriore Trikuspidalsegel kann an der linken Bildseite häufig registriert werden. Gelegentlich ist auch die Vena cava inferior zu sehen.

Diagnostische Möglichkeiten der parasternalen kurzen Achse:

- 1 . Bestimmung der Größe beider Ventrikel
- 2 . Auswertung der globalen und regionalen links-ventrikulären Funktion
- 3 . Bestimmung der Mitralklappe- und Trikuspidalklappenöffnungsfläche
- 4 . Lokalisierung und Bestimmung der Anzahl von Papillarmuskeln im linken Ventrikel
- 5 . Bestimmung der Vorhofgröße und Entdeckung intrakardialer Massen
- 6 . Erkennung des Vorhofseptums und seiner Defekte und Bewegungsanalyse
- 7 . Determinierung der räumlichen Orientierung der großen Gefäße
- 8 . Auswertung von Abnormitäten im Bereich der Aorten-, Pulmonal-, Mitralklappe- und Trikuspidalklappe
- 9 . Sichtbarmachung des Ursprungs der rechten und linken Koronararterie
- 10 . Auswertung der Aortenwurzelpathologie

11. Bestimmung des Pulmonalarterienhauptstammes, der proximalen rechten und linken Äste und die Anwesenheit von Thromben
12. Erkennung von Vergrößerung und Drainage des Koronarsinus

Pulmonalishauptstamm und Bifurkation

Durch Drehung des Schallkopfes im Uhrzeigersinn kann der Verlauf der Pulmonalarterie bis hinein zur Bifurkation mit Aufteilung in die rechte und linke Pulmonalarterie verfolgt werden. Dabei wird der Schallkopf etwas nach kranial gekippt.

6.4.2. Apikale Echokardiographie

Hierbei wird der Schallkopf auf die Herzspitze direkt auf den maximalen Herzspitzenstoß aufgesetzt, wobei es günstig ist, wenn der Patient die Linksseitenlage einnimmt. Grundsätzlich ist der sog. 4-Kammerblick bzw. das RAO-Äquivalent des linken Ventrikels darstellbar.

Bei dem 4-Kammerblick sollte der rechte Ventrikel mit den entsprechenden Vorhöfen links dargestellt werden.

Beim apikalen 4-Kammerblick verläuft die Schallebene von der Herzspitze in etwa zur rechten Scapula des Patienten, so daß die Schallebene von der Herzspitze zur Basis verläuft. Es werden alle 4 Kammern des Herzens, nämlich beide Ventrikel und

Vorhöfe, das Vorhof- und Ventrikelseptum und die sogenannte crux cordis dargestellt. Entsprechend wird das Ventrikelseptum transducernah und das Vorhofseptum transducerfern abgebildet.

Der apikale 4-Kammerblick erlaubt eine Bewertung der echokardiographischen Beziehung von Vorhof- und Ventrikelseptum sowie beider atrioventrikulärer Klappen. Normalerweise entspricht die Verbindung zwischen Vorhof- und Ventrikelseptum nicht einer geraden Linie, denn das Vorhofseptum scheint etwas nach rechts, also zum rechten Vorhof hin, in Relation zum Ventrikelseptum verschoben.

Die Verbindung zwischen beiden Vorhöfen entspricht dem membranösen Anteil des Ventrikelseptums. Der Ansatz des vorderen Mitralsegels ist normalerweise etwas höher als der des septalen Trikuspidalsegels. Ersteres inseriert im linken, atrioventrikulären Sinus, wogegen das septale Trikuspidalsegel mehr im mittleren Anteil des membranösen Septums inseriert. Dadurch resultiert eine Differenz zwischen 5 und 10 mm bei älteren Kindern und Erwachsenen. Diese sehr wichtige anatomische Unterscheidung macht eine Differenzierung des anatomischen linken und rechten Ventrikels möglich.

Das Vorhofseptum kann gewöhnlich beurteilt werden, obwohl häufig Echowerteile (drop out) an seinem mittleren Anteil entstehen, welche der Region der Fossa ovalis entsprechen. Hierdurch können bei der Beurteilung von Vorhofseptumdefekten falsch positive, aber auch falsch negative Befunde entstehen. Auch eine Bewegungsanalyse des Vorhofseptums im Verlauf der Herzaktion ist möglich: das Vorhofseptum biegt sich zum rechten Vorhof durch während

der Ventrikelsystole. Auch die rechte und linke inferiore Pulmonalvene kann an ihrer Eintrittsstelle in den linken Vorhof identifiziert werden.

5-Kammerblick

Durch Kippung des Transducers mehr anterior kann man zusätzlich zu den 4 Kammern auch die Aortenklappe und Teile der Aortenwurzel sichtbar machen, so daß ein 5-Kammerblick entsteht. Die Aortenwurzel nimmt dabei den Teil ein, den vorher die crux cordis innehatte.

RAO-Äquivalent

Dieses Schnittbild entspricht dem rechten schrägen Durchmesser durch den linken Ventrikel und ist erhältlich, wenn der Schallkopf von der Herzspitze aus zur Darstellung des apikalen 4-Kammerblicks um 90 Grad im Uhrzeigersinn gedreht wird. Die Schallebene verläuft praktisch parallel zum Ventrikelseptum, wobei die Spitze des linken Ventrikels rechts oben im Bild erscheint und die Aorta links unten. Der linke Vorhof liegt direkt posterior. In dieser Schallebene sind antero-laterale und inferiore Anteile des linken Ventrikels abgebildet, so daß eine Ähnlichkeit mit dem Angiogramm im rechts-anterioren-schrägen Durchmesser entsteht.

Diagnostische Möglichkeiten der apikalen Echokardiographie:

1. Bestimmung der Ventrikel- und Vorhofgröße
2. Entdeckung und Lokalisation von intrakardialen Massen
3. Bewertung von Vorhof- und Ventrikelseptumdefekten
4. Bestimmung von Fehlkonnektionen zwischen Vorhof- und Ventrikelseptum
5. Bestimmung von Verlagerung atrioventrikulärer Klappen und Klappenöffnungen, z. B. der Ebstein'schen Anomalie und bei "straddling" Klappen
6. Diagnostik von Strukturabnormitäten der AV-Klappen und ihrer Aufhängeapparate
7. Bewertung der linksventrikulären Funktion
8. Bestimmung von Ventrikulaneurysmen
9. Diagnostik der einen Ventrikelseptumdefekt überreitenden Aorta
10. Darstellung der rechten und linken unteren Pulmonalvene

6.4.3. Subcostale (subxyphoidale) Echokardiographie

Die Untersuchung sollte möglichst in inspiratorischer Apnoe vorgenommen werden. Der Schallkopf wird dabei von der Mittellinie etwas nach rechts in den epigastrischen Winkel aufgesetzt. Der Schallkopf muß relativ fest gegen die Bauchdecke gepreßt werden. Günstig ist dabei, wenn der Patient die Beine anzieht, um die Bauchmuskeln zu entspannen. Bei sagittaler Schallebenenrichtung können das Leberparenchym, die Lebergröße und der Verlauf der Vena cava inferior mit Einmündung der Lebervenen dargestellt werden.

4-Kammerblick

Hierbei zeigt die Schallebene in etwa parallel zur Horizontalebene des Thorax bis zur linken Clavicula. Somit entsteht ein Schnittbild, das dem apikalen bzw. auch parasternalen 4-Kammerblick sehr ähnlich ist. Allerdings kann man die Spitzen der Ventrikel dadurch darstellen, daß der Schallkopf leicht zur linken Patientenseite gedreht wird. Durch diese Technik wird insbesondere das Vorhofseptum sehr gut dargestellt, während bei apikaler Darstellung im Bereich der Fossa ovalis häufig drop outs entstehen. Zwischen Herzsilhouette und Transducer ist ein Teil des Leberparenchyms interponiert.

5-Kammerblick

Durch Drehung des Schallkopfes im Uhrzeigersinn und Kippung nach superior ist der Ursprung des posterior gelegenen Gefäßes aus dem hinteren Ventrikel, normalerweise die Aorta, und ihre Beziehung zur Mitralklappe und zum linken Ventrikel darstellbar. Bei diesem Schnitt wird die Längsachse des Ventrikels verkürzt dargestellt. Beide Segel der Mitralklappe und die Aortensegel sind ebenso wie der linksventrikuläre Ausflußtrakt gut sichtbar. Gewöhnlich kann die Trikuspidalklappe direkt anterior im Bild gesehen werden.

Rechtsventrikulärer Ausflußtrakt

Durch weitere Drehung im Uhrzeigersinn und durch superiore Kippung entsteht ein Schnittbild, in dem der linke Ventrikel in der kurzen Achse und Anteile der Mitralklappe sichtbar werden. Sehr wichtig ist dabei, daß die Längsachse des gesamten rechten Ventrikels im Ausflußtrakt darstellbar wird. Hierzu gehört auch die Trikuspidalklappenöffnung.

Diagnostische Möglichkeiten der subcostalen (subxyphoidalen) zweidimensionalen Echokardiographie:

1. Beurteilung der Lebervene und Entdeckung von Dilatation und Obstruktion der Vena cava inferior

2. Bestimmung der Vena cava inferior und Verbindung mit dem rechten Vorhof
3. Bestimmung des Vorhof- und visceralen Situs
4. Bestimmung der Vorhofgröße und Entdeckung intracavitärer Massen
5. Bewertung der Vorhofseptumbewegung
6. Bestimmung und Lokalisation von Vorhofseptumdefekten
7. Diagnostik von atrioventrikulären Klappenabnormalitäten
8. Entdeckung von Pulmonalklappenabnormalitäten
9. Bestimmung der rechtsventrikulären Wanddicke
10. Auswertung der rechtsventrikulären Herzspitze und des Ausflußtraktes
11. Bestimmung von Anzahl, Ursprung und räumlicher Beziehung der großen Gefäße
12. Bestimmung der linksventrikulären Größe, Form und Funktion sowie der Waddynamik
13. Bestimmung der Ventrikelseptumdicke, Bewegungsanalyse und Defekte

6.4.4. Suprasternale zweidimensionale Echo- kardiographie

Längsachse

Dabei wird der Schallkopf in der Fossa jugularis aufgesetzt, im Längsverlauf der ascendierenden Aorta. Hierbei wird die ascendierende Aorta, der Aortenbogen, der Ursprung der Brachiocephalgefäße und die descendierende Aorta dargestellt. Gelegentlich ist auch die Aortenklappe sichtbar. Das Bild entspricht in etwa der lateralen Ansicht im Angiogramm. Somit wird die ascendierende Aorta auf der linken Bildseite und die descendierende rechts dargestellt. Posterior und neben der Aorta ist die rechte Pulmonalarterie in der kurzen Achse sichtbar und unterhalb davon das linke Atrium. Dies gilt für einen linksseitigen Aortenbogen. Zur Darstellung eines rechtsseitigen Aortenbogens in der Längsachse wird der Schallkopf im Uhrzeigersinn um 180 Grad gedreht.

Kurze Achse

Dies entspricht einem ap-Angiogramm. Die quergetroffene ascendierende Aorta erscheint im oberen Anteil des Bildes und die rechte Pulmonalarterie unten in ihrem Längsverlauf. Gelegentlich ist auch die erste Aufteilung der rechten Pulmonalarterie am linken Bildrand erkennbar. Durch leichte Drehung des Schallkopfes im Uhrzeigersinn und Kippung zur linken Patientenseite und gering auch nach an-

terior wird der distale Anteil des Pulmonalisstammes sichtbar. Von hier aus kann durch Kippung des Schallkopfes nach posterior und links gelegentlich auch die linke Pulmonalarterie dargestellt werden. Unterhalb der Pulmonalarterie wird der linke Vorhof sichtbar. Unmittelbar unterhalb des distalen Anteils der rechten Pulmonalarterie ist die rechte obere Pulmonalvene mit Verbindung zum linken Vorhof sichtbar. In diesem Schnittbild ist auch die Vena cava superior registrierbar, die als echofreier Raum entlang der Aorta links im Bild zu sehen ist. Ebenso ist die Vena anonyma sichtbar durch Querverläufe oberhalb der Aorta, die in die Vena cava superior einmünden. Durch leichte Drehung gegen den Uhrzeigersinn und anteriore Kippung des Transducers kann die Längsachse der Vena cava superior registriert werden entlang der Aorta ascendens.

Diagnostische Möglichkeiten der supra-sternalen Echokardiographie:

1. Bestimmung der Dimension verschiedener Anteile der Aorta und Entdeckung dissezierter Wandanteile
2. Bestimmung von Aortenbogenabnormitäten
3. Entdeckung und Lokalisation von Aortenisthmusstenosen

4. Bestimmung der Größe der rechten, gelegentlich auch der linken Pulmonalarterie und des Pulmonalisstammes
5. Bestimmung von Abnormalitäten im Bereich der Vena cava superior
6. Diagnostik einer Waterston- oder Glenn-Anastomose als Verbindung der aufsteigenden Aorta zur rechten Pulmonalarterie bzw. Vena cava superior zur rechten Pulmonalarterie

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die zweidimensionale Echokardiographie eine genaue Diagnose bei fast allen angeborenen Herzfehlern erlaubt. Sie liefert jedoch nicht nur Aussagen über anatomische Strukturen und topographische Beziehungen, sondern es können auch pathophysiologische Funktionsabläufe erkannt werden. Besonders auch mit der Weiterentwicklung der zweidimensionalen Echokardiographie, der Kontrastechokardiographie, hat sich das Spektrum der diagnostischen Möglichkeiten weiter verbessert.

Im folgenden Kapitel werden kurz die Grundlagen und Anwendungsbereiche der Kontrastechokardiographie beschrieben.

7. Kontrastechokardiographie

7.1. Grundlagen

Unter Kontrastechokardiographie versteht man die Injektion von verschiedenen echoerzeugenden Substanzen in den Blutstrom, während man mit standardisierten echokardiographischen Techniken den Blutfluß beobachtet, der sich durch die produzierten Echowolken darstellen läßt.

Die Kontrastechokardiographie fand in den letzten Jahren hauptsächlich in drei Indikationsgebieten Anwendung. Neben der Identifizierung kardialer Strukturen im rechten und linken Herzen wurde sie vor allem in der Diagnostik abgeborener, komplexer Herzvitien und zum Nachweis intrakardialer Shunts eingesetzt (20,31,45,64,68,73,74,87).

Das in den Herzhöhlen befindliche Blut ist normalerweise völlig echofrei. GRAMIAK (26) hat jedoch 1969 die Beobachtung gemacht, daß nach Injektion von Flüssigkeiten, in seinem Fall Indozyaningrün, kurzfristig sogenannte Kontrastechos im Blut erscheinen. Als eine Erklärung für dieses Phänomen werden kleinste Gasbläschen vermutet. Nach dem Bernoullischen Prinzip kommt es beim Austritt des Injektats in die Blutbahn zu einem Druckabfall. Der in der Injektionsflüssigkeit enthaltene Gasanteil wird freigesetzt, und es kommt zur Ausbildung von sogenannten Mikrokavitationen, die die Schallwellen stark reflektieren (4,5,43). Sie bleiben in der Blutbahn viele Sekunden, manchmal sogar einige

Minuten erhalten, werden aber zerstört, wenn das Blut einen Kapillarfilter oder das Lungenstrombett passiert (26).

Andere Erklärungsversuche beruhen auf Temperaturunterschieden, Turbulenzen und unterschiedlicher akustischer Impedanz zwischen der injizierten Lösung und dem umgebenen Medium (4,5,19,43). Wahrscheinlich beruht der hervorgerufene Kontrast jedoch nicht auf einer, sondern auf der Summation aller Effekte, die zur Erklärung dieses Phänomens angeführt werden.

An echoproduzierenden Substanzen wurden in den letzten Jahren verschiedene Lösungen getestet. GRAMIAK (26) verwendete 1969 zur Identifizierung intrakardialer Strukturen Indozyaningrün. Aber auch physiologische Kochsalzlösungen, Glucose in verschiedenen Konzentrationen, Eigenblut, Humanalbumin und Medikamente in Lösung kamen zur Anwendung (45, 54, 55, 56, 73, 75, 87). Den besten Effekt scheint eine Injektion mit Indozyaningrün zu ergeben. Aber auch physiologische Kochsalzlösung und Glucose liefern gute Ergebnisse (75,56).

7.2. Injektionstechnik

Die Injektion des Kontrastmittels kann sowohl von peripheren als auch von zentralen Venen aus vorgenommen werden. Es ergibt sich bei peripherer Injektion kein wesentlicher Qualitätsverlust der echokardiographischen Aussagemöglichkeit im Vergleich zu mehr zentralen Injektionen (75). Die zentrale Injektion wird meist während einer gleichzeitigen Herzkatheteruntersuchung angewendet.

Die Vorteile der Kontrastechokardiographie wurden bald allgemein anerkannt, als der Nachweis erbracht wurde, daß die Kontrastuntersuchung auch ohne Herzkatheteruntersuchung gute Ergebnisse liefert (75,87).

Die Injektion sollte bei peripherer Lage des Katheters kraftvoll und in Bolustechnik vorgenommen werden.

Für Indozyaningrün empfahl SEWARD (75) eine Doppelspritzentechnik, d. h. die Injektion von 1 ml Indozyaningrün und das sofortige Nachspritzen von 5-10 ml physiologischer Kochsalzlösung. Die Injektion wird je nach Bedarf beliebig oft wiederholt. Die Dosierung richtet sich nach dem Körpergewicht: Bei Patienten mit mehr als 30 kg Körpergewicht 5 mg Indozyaningrün pro ml; 2,5 mg/ml bei einem Gewicht zwischen 10 und 30 kg KG; 1,25 mg/ml bei 5-10 kg KG und 0,625 mg/ml bei Patienten mit weniger als 5 kg KG.

7.3 Anwendungsgebiete

Die periphere und zentrale Kontrastechokardiographie stellt eine empfindliche Untersuchungsmethode dar, um ein **Shuntphänomen** sowohl auf Vorhof- und Ventrikelebene, als auch im Bereich der großen herznahen Gefäße nachzuweisen.

Bei der peripheren Kontrastechokardiographie erfolgt die Injektion in eine periphere Vene (75, 87). Die Kontrastechos sind dann im Normalfall nur in den Höhlen des rechten Herzens nachweisbar. Der Übertritt von Kontrastechos in das linke Herz ist beweisend für eine Kurzschlußverbindung mit Rechts-Links-Shunt. Auf diese Weise können selbst minimale, oxymetrisch nicht mehr faßbare Rechts-Links-Shunts erkannt werden (3, 20, 45, 63, 75, 76, 78).

Der Nachweis von Links-Rechts-Shunts mit Hilfe der M-Mode Kontrastechokardiographie ist hingegen nur dann möglich, wenn die Kontrastinjektion in die linken Herzhöhlen erfolgt, etwa bei einer Herzkatheteruntersuchung (12) oder über einen anlässlich einer Herzoperation zum Zweck der postoperativen Überwachung eingebrachten linksatrialen Katheter (87).

Mit Hilfe der zweidimensionalen Echokardiographie ist es nunmehr möglich geworden, auch bei peripherer Kontrastinjektion Links-Rechts-Shunts direkt nachzuweisen. In der Gegend des Defektes werden die im rechten Herzen befindlichen Kontrastechos durch den Übertritt von kontrastfreiem Blut aus

dem linken Herzen fortgespült und ausgewaschen. Dieser Auswascheffekt kann im Schnittbild erkannt werden (88). Man spricht deshalb von negativer Kontrastechokardiographie.

Auch ein **offener Ductus arteriosus Botalli** läßt sich mit Hilfe der zweidimensionalen Kontrastechokardiographie nachweisen.

Es stellen sich dabei sowohl der Aortenbogen als auch die rechte Pulmonalarterie dar. Liegt kein Links-Rechts-Shunt vor, kontrastiert sich nur der Aortenbogen (1,44,90).

Klappeninsuffizienzen- und atresien können ebenfalls erkannt werden (46,75). Bei Vorliegen beispielsweise einer Trikuspidalinsuffizienz erzeugt die periphere Injektion von physiologischer Kochsalzlösung eine direkte in den rechten Vorhof gerichtete, reflektierte Strömung zur Zeit der Ventrikelkontraktion (46).

Die **Transposition der großen Arterien** ist ein weiteres Anwendungsgebiet für die zweidimensionale Kontrastechokardiographie. MORTERA et al. (55) konnten bei 29 von 95 untersuchten Kindern die Diagnose einer Transposition der großen Arterien eindeutig stellen. Dieses Ergebnis bestätigt sich in der Herzkatheteruntersuchung.

Abschließend läßt sich sagen, daß die Kontrast-echokardiographie, durch ihre Nichtinvasivität und leichte Durchführbarkeit, das Spektrum der echokardiographischen Anwendungsmöglichkeiten in der kardiologischen Diagnostik erweitert hat.

Die hauptsächlichen Anwendungsgebiete sind die Shuntdiagnostik und die Diagnose angeborener komplexer Herzvitien (1, 45, 46, 54, 55, 56, 63, 75, 78, 82, 80, 88, 90). Auf diesen Gebieten ist sie den invasiven Methoden, wie Herzkatheteruntersuchung und Angiokardiographie, in den meisten Fällen an Treffsicherheit in der Diagnosestellung ebenbürtig. Sie sollte daher in der Vorfelddiagnostik in Zukunft häufiger angewendet werden.

8. Methodik

8.1. Patienten

Insgesamt wurden 111 Kinder im Alter zwischen 1 Tag und 13 Jahren und 2 Monaten untersucht. Sie lassen sich in 2 Gruppen einteilen.

1. Gruppe (retrospektiv):

51 Kinder mit durch Herzkatheterisierung nachgewiesener LPSVC

Ermittlung der Patienten mit einer LPSVC:

Anhand von 4843 Herzkatheterberichten aus den Jahren 1976 bis 1985 der Kinderklinik für Herz- und Kreislauferkrankungen im Deutschen Herzzentrum München wurden die Patienten ermittelt, bei denen im Laufe einer diagnostischen Herzkatheteruntersuchung eine LPSVC nachgewiesen werden konnte.

Bei der Ermittlung der Kinder mit nachweisbarer LPSVC wurde folgendermaßen vorgegangen:

Sämtliche Herzkatheterberichte aus den Jahren Januar 1976 bis Oktober 1985 wurden daraufhin überprüft, ob eine LPSVC während der Katheterisierung nachgewiesen werden konnte. Während einer Herzkatheteruntersuchung wird in der kinderkardiologischen Abteilung des Deutschen Herzzentrums München routinemäßig das Vorhandensein einer LPSVC überprüft. Die LPSVC wird entweder sondiert oder im Zuge einer anschließenden Angiokardiographie mit Kontrastmittel dargestellt.

Bei 110 von 4843 untersuchten Kindern fand sich eine LPSVC. Von den ermittelten Patienten wurden die angelegten Akten herausgesucht. Anhand der Krankengeschichte wurde überprüft, ob in der Folgezeit eine Operation, die zu einer Okkultierung der Vene geführt hatte, vorgenommen worden war. Bei allen betroffenen Kindern wurde außerdem die Mündungsstelle der LPSVC in das Herz ermittelt. Bei 6 von 14 Patienten, die an der Schwere ihrer Erkrankung verstorben waren, konnten die Diagnose zusätzlich durch eine Autopsie bestätigt werden.

Zur echokardiographischen Untersuchung in die kinder-kardiologische Ambulanz des Deutschen Herzzentrums München kamen insgesamt 51 Kinder mit einer nachgewiesenen LPSVC.

Die verbliebenen 59 Kinder waren entweder verstorben (14) oder die LPSVC war bei einer Operation okkludiert worden (3). Bei den restlichen 42 Kindern war der Aufenthaltsort nicht bekannt oder die Eltern wollten nicht zu einer zusätzlichen Untersuchung in die echokardiographische Ambulanz kommen.

Alter und Geschlecht:

Von den 51 untersuchten Patienten waren 21 Mädchen und 30 Jungen. Das Alter der Kinder lag zwischen 3 Tagen und 11 Jahren und 4 Monaten, im Mittel bei 4 Jahren und 11 Monaten.

2. Gruppe (prospektiv):

60 Kinder mit einer echokardiographischen Untersuchung vor Herzkatheterisierung

Ermittlung der Kinder:

Im Sinne einer prospektiven Studie wurde, im Rahmen der kinder-kardiologischen Ambulanzuntersuchung, bei 60 Kindern eine echokardiographische Untersuchung vorgenommen. Alle Kinder erhielten spätestens 2 Tage nach der echokardiographischen Untersuchung eine Herzkatheterisierung und Angiokardiographie, so daß die im Ultraschall erhobenen Diagnosen überprüft werden konnten.

Geschlecht und Alter:

Von den 60 untersuchten Kindern waren 27 Mädchen und 33 Jungen. Das Alter lag zwischen 1 Tag und 13 Jahren und 2 Monaten, im Mittel bei 5 Jahren und 3 Monaten.

8.2. Geräte

Wir benutzten bei allen Untersuchungen einen mechanischen Sektorscanner der Firma ATL. Die Transducerfrequenz betrug 3 und 5 MHz. Alle Aufzeichnungen wurden auf Videoband aufgenommen, das über einen Monitor mit Normalgeschwindigkeit und slow-motion wieder abgespielt werden konnte. Gleichzeitig wurde das EKG registriert.

8.3. Untersuchungsgang

Eine komplette echokardiographische Untersuchung wurde bei jedem Patienten vorgenommen, einschließlich der subcostalen, parasternalen, apikalen und suprasternalen Schallkopfposition, wie sie von TAJIK et al. (83) beschrieben wurde.

Bei 5 Patienten aus der 1. Gruppe wurde zusätzlich eine Kontrastechokardiographie durchgeführt.

Die Patienten wurden in Rücken- und Linkslage untersucht. Dabei gingen wir nach folgendem Schema vor:

Zuerst wurde die parasternale Transducerposition aufgesucht und die lange und kurze Achse beurteilt. Die nächsten Schnittbilder wurden in der apikalen und subcostalen Einstellung jeweils in der kurzen und langen Achse aufgenommen. Als letzte Schallkopfposition wurde der Transducer suprasternal aufgesetzt und wiederum die kurze und lange Achse beschallt.

Bei der suprasternalen Schallkopfposition wurde, um die Untersuchung zu erleichtern, den Kindern eine Nackenrolle unter die Schulter gelegt oder die Eltern legten ihren Arm unter die Schulter der Kinder, um den Kopf zu überstrecken.

Schwierigkeiten durch Unruhe und Unbehagen der Kinder bei der Untersuchung ließen sich meist durch die Anwesenheit der Eltern mildern oder ganz vermeiden. War die Überstreckung nicht möglich, so gelang es aber trotzdem den Gefäßverlauf darzu-

stellen, wenn lange genug untersucht wurde. Sedierung war in keinem Fall nötig.

Bei den 5 Kindern, bei denen zusätzlich eine Kontrastechokardiographie vorgenommen wurde, suchten wir am linken Arm eine Cubitalvene auf und legten eine kleine Kanüle. Bei der Kontrastmittelinjektion wurden jeweils bis zu 10 ml einer physiologischen Kochsalzlösung kraftvoll per Hand injiziert. Der Vorgang wurde solange wiederholt, bis eine ausreichende Kontrastierung erreicht worden war. Gleichzeitig wurde in standardisierter Technik das zweidimensionale Echokardiogramm aufgezeichnet.

9. Ergebnisse

Bei allen untersuchten Kindern (51 retrospektiv, 60 prospektiv) wurde eine komplette echokardiographische Untersuchung vorgenommen. Die Diagnose umfaßte neben der Aussage über das Vorliegen einer LPSVC auch eine Beschreibung der Malformationen im Herzen sowie der angrenzenden großen Gefäße und die Bestimmung des atrialen Situs.

Bei den festgestellten Fehlbildungen war eine weitgehende Übereinstimmung gegeben, worauf in dieser Arbeit jedoch nicht näher eingegangen werden kann.

Unser besonderes Augenmerk war auf den Nachweis einer LPSVC gerichtet. Das folgende Kapitel enthält eine Zusammenfassung der dabei gefundenen Ergebnisse.

9.1. Retrospektive Gruppe

Es war bei allen untersuchten 51/51 Kindern (Sensitivität 100 %) möglich, die rechte Vena cava superior darzustellen. Am besten läßt sie sich in der suprasternalen kurzen Achse beurteilen. Sie erscheint bei dieser Einstellung auf der linken Seite des Bildschirms als echofreier Raum, der entlang der transversal getroffenen Aorta zieht. Zusätzlich konnten wir in der gleichen Ebene, auf der rechten Bildschirmseite, einen echofreien Raum beobachten, der spiegelbildlich zur rechten Vena cava superior entlang der Aorta verlief (siehe Abbildung 4).

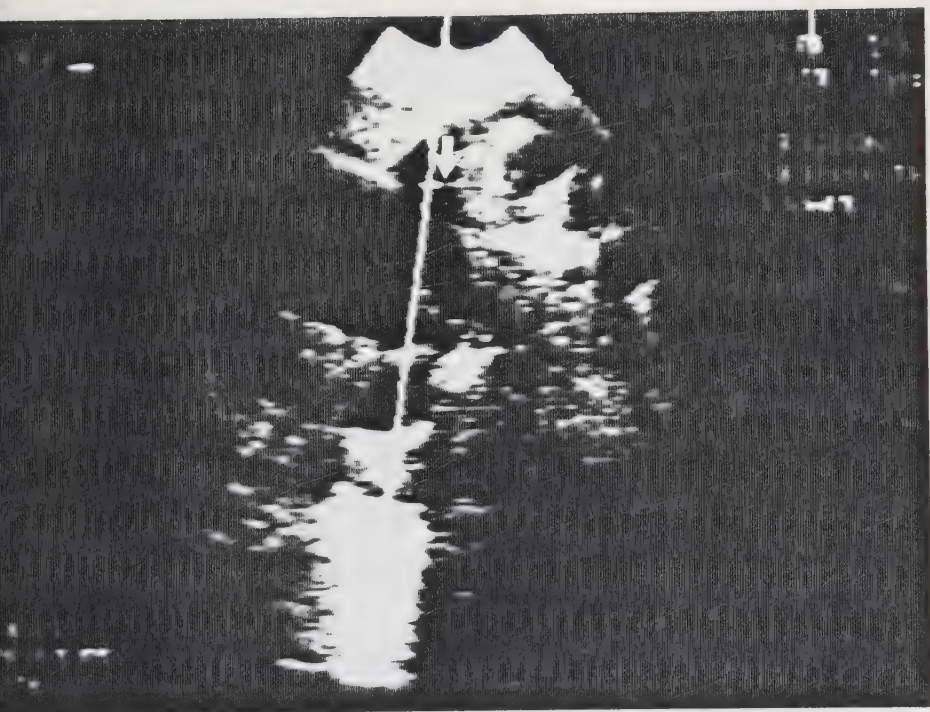


Abbildung 4:

Suprasternale zweidimensionale Echokardiographie bei einem 4jährigen Mädchen mit links persistierender oberer Hohlvene ohne Verbindung zur rechten Vena cava superior bei links persistierender oberer Hohlvene (siehe Pfeil).

Letztere steht in Verbindung mit einer Vena azygos bei singulärem Ventrikel, common atrium, gemeinsamer atrioventrikulärer Klappe mit Insuffizienz. Bei dem Kind wurde im Alter von 3 Monaten eine Bändelung der Pulmonalarterie durchgeführt.

Er war deutlich von der pulsierenden Aorta abzugrenzen und zog auf der rechten Bildschirmseite nach unten. Da durch das Bewegungsmuster ein arterielles, brachiocephales Gefäß als Diagnose nicht in Frage kam, vermuteten wir eine links persistierende Vena cava superior.

Von der suprasternalen Transducerposition aus wurde außerdem versucht, eine eventuell vorhandene V. anonyma darzustellen (siehe Abbildung 5).

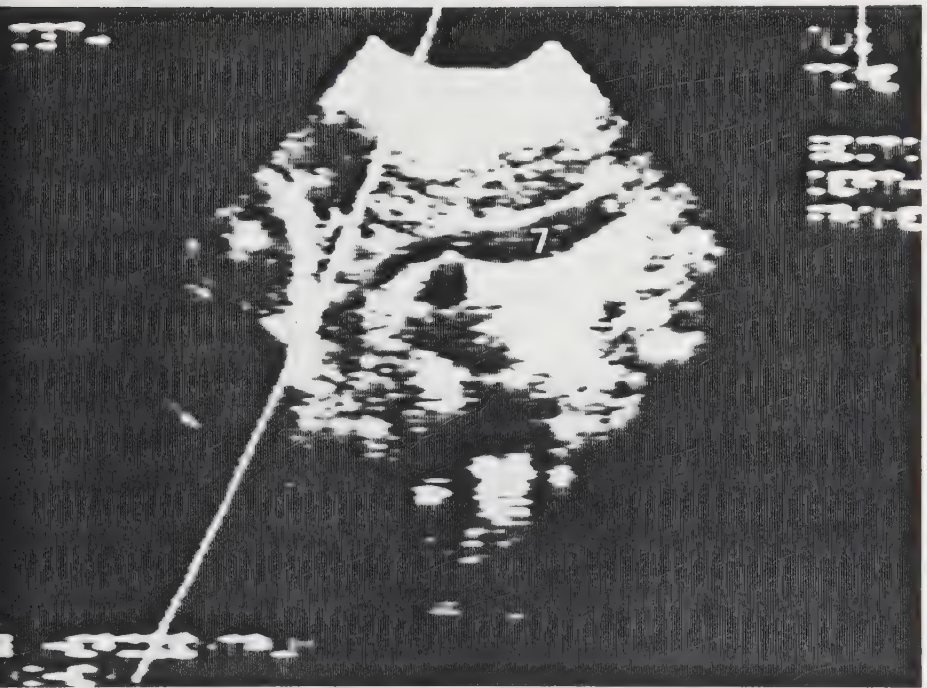


Abbildung 5:

Suprasternale Darstellung der Vena anonyma (7)
Einmündung in den Vena cava superior ohne Anhalt
für eine linkspersistierende obere Hohlvene.

Zusätzlich konnten wir bei diesen Kindern, besonders gut in der parasternalen Längsachse, einen zirkulären, echofreien Raum am Übergang des linken Atriums zum linken Ventrikel in Höhe des posterioren Mitralsegels beobachten. Der Durchmesser dieses Bezirkes änderte sich während der gesamten Herzaktion nicht. Die ganze Struktur bewegte sich aber während der Diastole gemeinsam mit der linken Atriumwand anterior. Dieser echofreie Raum entsprach dem, durch die Einmündung einer LPSVC erweiterten, Koronarsinus (siehe Abbildung 6).

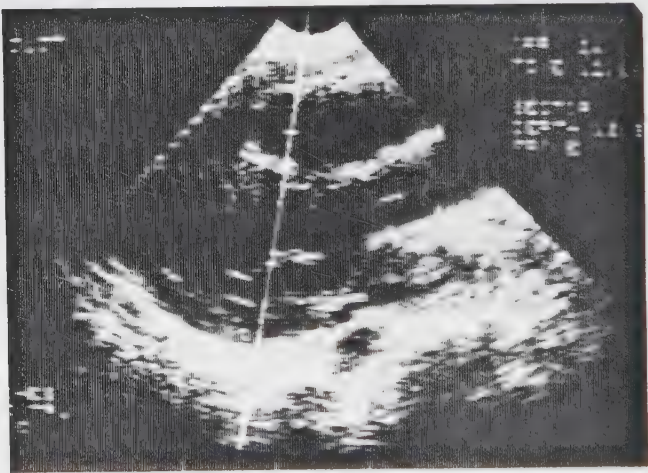


Abbildung 6:

Parasternale Längsachse und erweiterter Koronarsinus, der sich als zirkuläre Struktur hinter dem linken Vorhof der atrioventrikulären Verbindung darstellt. Die Dilatation des Koronarsinus ist be-

dingt durch eine einmündende links persistierende obere Hohlvene. Bei dem 12 Jahre alten Knaben wurde im Alter von 4 Jahren ein Vorhofseptumdefekt vom Sekundumtyp verschlossen und dabei die links persistierende obere Hohlvene belassen.

Es gelang uns allerdings nie, den direkten Übergang der LPSVC in den Koronarsinus darzustellen. Durch die Kombination der Informationen aus den verschiedenen Schnittbildern war unserer Meinung nach aber trotzdem der Nachweis einer LPSVC mit Mündung in den Koronarsinus eindeutig.

Bei 5 Kindern mit nachgewiesener LPSVC wurde zusätzlich eine Kontrastechokardiographie durchgeführt. Dabei wurde von einer linken Cubitalvene aus jeweils bis zu 10 ml physiologische Kochsalzlösung als Kontrastmittel gespritzt. Die Injektion wurde so lange wiederholt, bis sich ein ausreichender Kontrasteffekt zeigte. Die Injektion wurde kraftvoll von Hand vorgenommen. Gleichzeitig wurde das normale Echokardiogramm aufgezeichnet.

Die Ergebnisse entsprachen leider nicht unseren Erwartungen. In der Literatur (36, 38, 80, 82) wird beschrieben, daß bei Patienten mit der links persistierenden Vena cava superior mit Mündung in den Koronarsinus nach der Injektion von echoproduzierenden Substanzen zuerst eine Füllung des Koronarsinus und eine anschließende Kontrastierung des rechten Atriums und rechten Ventrikels zu beobachten sei.

Trotz wiederholten Versuchen war es uns nie möglich, eine Füllung des Koronarsinus zu erreichen. Das Kontrastmittel zeigte sich nach der Injektion sofort im rechten Atrium und anschließend im rechten Ventrikel. Nur in einem Fall gelang es, in der kurzen parasternalen Achse die Füllung der LPSVC darzustellen. Dabei kontrastierte sich der echofreie Raum auf der rechten Bildseite. Eine weitere Verfolgung des Kontrastmittelflusses in den Koronarsinus, entsprechend dem zu erwartenden Blutstrom, war jedoch auch in diesem Fall nicht möglich.

Auf zusätzliche Untersuchungen mit der Kontrastechokardiographie wurde nach diesen Ergebnissen verzichtet. Ein weiterer Grund die Kontrastechokardiographieversuche nicht durchzuführen, lag in der mangelnden Bereitschaft der Eltern, ihren Kindern die zum Teil schmerzhafteste Prozedur beim Legen einer Kanüle zuzumuten.

9.2. Prospektive Gruppe

Bei allen 60 Kindern aus der zweiten Gruppe wurde ebenfalls in standardisierter Technik eine echokardiographische Untersuchung vorgenommen.

Die Darstellung der rechten Vena cava superior war wiederum in allen Fällen möglich. Sie ließ sich als echofreier Raum auf der linken Bildschirmseite abbilden, lateral von der transversal getroffenen Aorta.

Bei 5 Kindern fand sich ein zusätzlicher echofreier Raum in der suprasternalen kurzen Achse, der entlang der transversal getroffenen Aorta spiegelbildlich zur rechten Vena cava superior auf der rechten Bildschirmseite darzustellen war. Bei diesen Kindern konnte außerdem, besonders gut in der parasternalen Längsachse, ein erweiterter Koronarsinus als zirkuläres Echo am atrioventrikulären Übergang erkannt werden. Aufgrund dieser Befunde stellten wir bei diesen 5 Patienten die Diagnose einer LPSVC. Dies bestätigte sich in der zwei Tage später durchgeführten Herzkatheteruntersuchung.

Einen erweiterten Koronarsinus in der parasternalen Längsachse fanden wir allerdings auch bei einem weiteren Kind. Diese Kind hat eine totale Lungenvenenfehlmündung des Typ II. Bei dieser Form der Lungenvenenfehlmündung hat der Pulmonalvenen-

sinus Anschluß an den Koronarsinus und mündet in das rechte Atrium (13). Der Koronarsinus ist dadurch vergrößert. Wir konnten bei diesem Patienten den erweiterten Koronarsinus in der parasternalen Längsachse darstellen. Wurde der Transducer leicht superior und medial gedreht, war es möglich, den Zusammenfluß des pulmonalen Sammelgefäßes mit dem Koronarsinus abzubilden. In der suprasternalen kurzen Achse war eine LPSVC nicht nachzuweisen. Aus der Kombination dieser Ergebnisse schlossen wir eine LPSVC mit Mündung in den Koronarsinus aus. Dieser Befund deckte sich mit der Diagnose aus der Herzkatheteruntersuchung.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß eine LPSVC mit Mündung in den Koronarsinus durch die zweidimensionale Echokardiographie eindeutig nachweisbar ist. In der suprasternalen kurzen Herzachse erscheint sie als zusätzlicher, echofreier Raum auf der rechten Bildschirmseite. Eine Verwechslung mit brachiocephalen, arteriellen Ästen ist durch das typische Bewegungsmuster der pulsierenden, arteriellen Gefäße bei genügend langer Beobachtung oder Verwendung der Dopplerechokardiographie auszuschließen. In der parasternalen kurzen Herzachse ist zudem der erweiterte Koronarsinus als zirkuläre Struktur am atrioventrikulären Übergang gut sichtbar. Aus diesen beiden Informationen läßt sich die Diagnose einer LPSVC mit Mündung in den Koronarsinus eindeutig stellen.

Wir konnten allerdings bei dieser Studie weder eine LPSVC mit Mündung in das linke Atrium noch eine

isolierte, links persistierende Vena cava superior oder eine doppelte Vena cava superior bei Atresie des Koronarsinusostium mit retrogradem Blutfluß beobachten. Nach unserer Meinung müßten sich aber auch diese Fälle mit der zweidimensionalen Echokardiographie nachweisen lassen.

Abschließend läßt sich sagen, daß bei dem retrospektiven Teil der Studie mit Hilfe der zweidimensionalen Echokardiographie die rechte und linke Vena cava superior in allen 51 Fällen ($51/51 = 100\%$ Sensitivität) und der erweiterte Koronarsinus ebenfalls bei allen 51 betroffenen Kindern ($51/51 = 100\%$ Sensitivität) dargestellt werden konnte. Die Spezifität betrug bei der Erkennung der rechten und linken Vena cava superior und des Koronarsinus ebenfalls 100% .

In der prospektiven Studie gelang der Nachweis einer LPSVC in 5 Fällen. Die echokardiographische Diagnose wurde in allen 5 Fällen durch die zwei Tage später erfolgte Herzkatheteruntersuchung bestätigt. Die Sensitivität und Spezifität betrug somit 100% .

10. Diskussion

Im folgenden Kapitel sollen unsere Ergebnisse den Ergebnissen in der Literatur gegenübergestellt werden. Es wurde in den letzten Jahren von mehreren Autoren (10, 36, 38, 80, 81, 82) versucht eine LPSVC mit Hilfe der Echokardiographie nachzuweisen. Trotzdem ist das Feld der Untersucher im Vergleich zu anderen echokardiographischen Untersuchungen, wie zum Beispiel der Shuntdiagnostik, recht klein. Das liegt nicht zuletzt an der vermeintlich geringen klinischen Relevanz, die eine Venenanomalie im kardiologischen Alltag mit sich bringt. Dies ist aber keineswegs der Fall, wie aus den vorhergehenden Kapiteln zu entnehmen ist. Gerade in der kardiologischen Diagnostik, vor operativen Eingriffen oder auch invasiven Methoden, wie Herzkatheteruntersuchungen, ist das Wissen um das Vorhandensein einer LPSVC von großer Wichtigkeit, um unvorhergesehene Komplikationen zu vermeiden. Zusätzlich besteht die Schwierigkeit, ein genügend großes Patientenkollektiv mit der systemvenösen Anomalie einer links persistierenden Vena cava superior zu erhalten, um eine Aussage über die Treffsicherheit des diagnostischen Verfahrens zu erhalten.

Im ersten Teil dieses Kapitels werden die Ergebnisse der verschiedenen Untersucher (10, 36, 38, 80, 81, 82) aufgeführt. Im zweiten Teil werden sie unseren Ergebnissen gegenübergestellt.

10.1. Ergebnisse des Nachweises einer LPSVC in der Literatur

1979 untersuchten **Norio Hibi et al. (36)** zwölf Patienten mit einer LPSVC mit der zweidimensionalen Echokardiographie und M-Mode-Echokardiographie. Das Alter der Patienten lag zwischen einem und 37 Jahren. Vier Patienten waren männlich und acht weiblich. Eine Herzkatheteruntersuchung und Angiokardiographie wurde bei allen Patienten vor oder nach der Echokardiographie durchgeführt. Die zweidimensionale und M-Mode-Echokardiographie wurde mit einem Toshiba SSL 51H Sonographiegerät durchgeführt. Normalerweise erscheint die Region des hinteren Mitralsegels bei einer Schnittbilduntersuchung als solides Wandecho. Bei Vorhandensein einer LPSVC konnte ein zirkuläres Echo mit einem echofreien Raum an der posterioren superioren Region des hinteren Mitralsegels in der langen Herzachse erkannt werden. Das gleiche Echo konnte ebenfalls als tubuläres Echo hinter dem linken Atrium und linken Ventrikel in der sagittalen Ebene erkannt werden. Während der Systole vergrößerte es sich langsam und erreichte das Maximum in der frühen Diastole und kontrahierte sich wieder in der Middiastole.

Bei der Injektion von Indozyaningrün in eine linke Cubitalvene erschien der Echokонтраст in der Aussparung, die als LPSVC angesehen wurde, niemals dagegen konnte der Echokонтраст im linken Atrium oder linken Ventrikel festgestellt werden. Dieses

anormale Echo wurde nicht bei normalen Patienten und Patienten mit kongentialen Herzfehlern ohne LPSVC dargestellt. Abnormale Echos, die an der Grenze zwischen linkem Ventrikel und linkem Atrium oder in der linken Kammer entstehen, sollten von denen einer LPSVC unterschieden werden. Dies ist mit der eindimensionalen Echokardiographie aber nicht immer möglich. Die abnormalen Echobefunde aus dieser Region können eine der folgenden Diagnosen darstellen: das posteriore Mitralsegel und eine verkalkte Mitralklappe bei Mitralklappenstenose (58), das Diaphragma oder ein Cor triatriatum (59), die Massen eines Myxoms im linken Atrium (42, 35), das lineare oder Massenecho eines Thrombus im linken Atrium (84) und verdickte Chordae tendineae. Mit Hilfe der zweidimensionalen Echokardiographie können diese Echos aber aufgrund ihrer Lokalisation, Bewegung und speziellen Charakteristik von einer LPSVC differenziert werden.

Hibi schließt aus seinen echokardiographischen Befunden, daß die Bewegung und Lokalisation des normalerweise nicht vorhandenen Echos von dem unteren Teil der LPSVC herrührt. Er kommt deshalb zu dem Schluß, daß die zweidimensionale Echokardiographie zum Nachweis einer LPSVC gut geeignet ist.

HUNTA et al. (38) untersuchten 800 Kinder mit kongenitalen Herzfehlern mit der zweidimensionalen Echokardiographie.

Bei allen Kindern wurde zur Sicherung der Diagnose eine Angiographie durchgeführt. Die Echogramme wurden ohne Kenntnis der angiographischen Befunde erstellt. Das Alter der Patienten lag zwischen 1 Tag und 16 Jahren, im Durchschnitt betrug es 2,9 Jahre. Es waren 440 Jungen und 360 Mädchen, 32 % von ihnen waren jünger als ein Jahr.

Alle Untersuchungen wurden mit einem HTL Mark 5 Echokardiographiegerät durchgeführt. Die Frequenzen lagen bei 3,5 oder 5 MHz. Besonderes Interesse wurde der suprasternalen Schallkopfposition gewidmet, um Segmente der Vena cava superior und ihrer Verbindung zu identifizieren. Bei 33 Patienten von 53 mit einer Venenanomalie konnte die Diagnose zusätzlich durch eine Operation und bei 8 durch eine Autopsie bestätigt werden. 4 Patienten hatten einen Situs inversus. Bei ihnen war der venöse Blutrückfluß spiegelbildlich zum Normalen.

Abnormitäten des systemischen, venösen Rückflusses konnten bei 53 Patienten (6%) festgestellt werden. Es gab keinen klaren Zusammenhang zwischen der Herzmißbildung und der Störung des venösen Rückflusses. Die venösen Anomalien schienen allerdings mit dem atrialen Situs zu korrelieren.

Die Sensitivität der echokardiographischen Befunde bei den venösen Anomalien ergab die unten angeführten Werte; die Spezifität der Methode betrug 100 %.

Die normal angelegte, rechte Vena cava superior konnte von der suprasternalen und subcostalen

Schallkopfposition aus bei allen Kindern dargestellt werden (792/792) (100%), die linke Vena cava superior, war sie allein ausgebildet, konnte bei 46 von 48 betroffenen Patienten nachgewiesen werden (96%). Waren zwei Venae cava superiores ausgebildet, war eine Darstellung bei 38 von 40 Kindern möglich (95%). Eine Verbindungsvene war bei 18 Patienten (45 %) angelegt, sie konnte nur bei 13 von ihnen nachgewiesen werden. Die direkte Verbindung einer LPSVC zum Herzen, z. B. über den Koronarsinus, war teilweise schwierig darzustellen, aber konnte in allen Fällen korrekt vorhergesagt werden, wenn die Informationen aus verschiedenen Schnittbildern kombiniert wurden.

War ein Koronarsinus im subcostalen Schnittbild in der langen Achse zu sehen, mündete immer die LPSVC in ihn. Hilfreich war die Kontrastechokardiographie, um die Verbindung einer LPSVC zum Herzen zu diagnostizieren. Sie wurde bei 5 Patienten angewandt. Als Beispiel beschreiben HUHTA et al. hier die Befunde der Kontrastechokardiographie bei einer Links-Isomerie. Nach der Injektion von Kochsalz über die rechte Handvene füllt sich zunächst die links gelegene Hälfte des Atriums. Damit ist eine rechte Vena cava superior ausgeschlossen und die Verbindung zum links gelegenen Atriumanteil bestätigt.

Nach HUHTA et al. ist die zweidimensionale Echokardiographie eine extrem spezifische und hoch sensitive Methode um Anomalien im venösen Blutrückfluß zu erkennen. Sie ist deshalb von großem Wert bei der Planung von Herzkatheteruntersuchungen und Operationen am offenen Herzen.

Snider et al. (80) untersuchten 1979 in einer prospektiven Studie acht Patienten mit einer LPSVC, die in den Koronarsinus mündete und zwei Patienten mit einer totalen Lunvenenfehlöffnung in den Koronarsinus mit der zweidimensionalen und der M-Mode-Echokardiographie. Das Alter der Patienten lag zwischen einem Tag und 18 Jahren. Eine komplette Herzkatheteruntersuchung, einschließlich einer oxymetrischen Messung zur Shuntdiagnostik wurde bei allen Patienten durchgeführt. Bei der Herzkatheteruntersuchung wurde der Katheter über den Koronarsinus in die LPSVC eingeführt. Die Befunde der Katheterisierung wurden bei allen Patienten durch die Operation bestätigt.

Die M-Mode-Echogramme wurden mit einem Ekoline 20 A Ultraschallgerät aufgezeichnet. Die Patienten wurden in der Linksseitenlage untersucht und der Transducer wurde im 3. oder 4. Intercostalraum links aufgesetzt. Der Schallstrahl war so ausgerichtet, daß der linke Ventrikel, die Mitralklappe, die Aorta und die Trikuspidalklappe beurteilt werden konnten.

Die zweidimensionalen Echogramme wurden mit einem Varian Associates 80 degree phased array sector scanner aufgezeichnet. Die Frequenz betrug 3,5 MHz. Die Patienten wurden ebenfalls in Linksseitenlage untersucht, mit dem Transducer im zweiten oder dritten Intercostalraum links. Das parasternale Schnittbild in der langen Achse erhielt man, indem man die Schallebene zwischen Apex und Herzbasis legte. Von dieser Schallkopfposition aus wurde der Transducer um 90 Grad im Uhrzeigersinn gedreht, so daß die kurze Achse erschien. Den api-

kalen Vierkammerblick zeichnete SNIDER nach der von SILVERMAN 1978 (79) beschriebenen Technik auf. Der Transducer wurde über dem Apex aufgesetzt und so gedreht, daß alle vier Kammern gleichzeitig eingesehen werden könnte. Die zweidimensionalen Echogramme wurden auf Videoband aufgezeichnet, so daß eine Abspielung mit Normalgeschwindigkeit und slow-motion möglich war.

Kontrastechogramme in M-Mode und zweidimensionaler Technik wurden bei 5 Patienten durchgeführt (drei mit einer LPSVC und zwei mit einer totalen Lungenvenenfehlmündung). Es wurde eine Kochsalzlösung in eine linke Armvene vorgenommen.

Bei der M-Mode-Echokardiographie konnte ein abnormales Echo bei den Patienten mit einer LPSVC festgestellt werden. Das Echo erschien hinter dem Mitralklappenecho und bestand aus dem kombinierten Echo der posterioren linksn Atriumwand und der vorderen Wand des erweiterten Koronarsinus. Der freie Raum hinter dem Echo stellte den Koronarsinus dar.

Bei der Kontrastechokardiographie erschienen die Echowolken zuerst in dem freien Raum der den Koronarsinus darstellte und anschließend im rechten Ventrikel, entsprechend dem venösen Blutstrom in das rechte Atrium. Bei den Patienten mit einer totalen Lungenvenenfehlmündung erschien ein Echo das ähnlich dem der Patienten mit einer LPSVC war. In der Kontrastechokardiographie erschienen gleichzeitig Echowolken im linken und rechten Atrium und im rechten Ventrikel entsprechend dem Rechts-Links-Shunt auf Vorhofebene. Der Koronarsinus, der Blut aus den Pulmonalvenen erhielt, blieb als ein-

zige Struktur frei von einer Kontrastierung. Bei der zweidimensionalen Echokardiographie konnte der Koronarsinus am besten in der langen Achse erkannt werden. In diesem Schnittbild konnte er als zirkuläre Struktur wenig oberhalb des posterioren Mitralsegels erkannt werden. Der Durchmesser änderte sich während der Herzaktionen nicht, aber die gesamte Struktur bewegte sich während der Diastole anterior gemeinsam mit der linken Atriumwand. Während der Kontraststudien erschienen die Echowolken zuerst im zirkulären Koronarsinus und dann im rechten Ventrikel. Damit war der Vorhandensein einer LPSVC, die in den Koronarsinus mündete, nachgewiesen.

Der erweiterte Koronarsinus konnte in der kurzen Achse bei allen acht Patienten mit einer LPSVC auf der Höhe des vorderen Mitralsegels und kurz unterhalb der standardisierten kurzen Achse durch die Aorta erkannt werden. Echos aus einer Kontrastinjektion in eine linke Armvene erschienen hinter dem linken Ventrikel und füllten dann den Koronarsinus. Von dort flossen sie entsprechend dem Blutstrom in das rechte Atrium und den rechten Ventrikel. Im Vierkammerblick erschien der Koronarsinus als ovale Struktur entlang der lateralen Wand des linken Atrium. Die Kontrastechokardiographie ergab dieselben Ergebnisse wie bei den anderen Schnittebenen: die ovale Struktur des Koronarsinus füllte sich zuerst, dann erst kontrastierte sich das rechte Atrium. Bei den beiden Patienten mit totaler Lungenvenenfehlmündung in den Koronarsinus konnte der Koronarsinus in der langen Achse kurz

oberhalb der Mitralklappe erkannt werden. Mit einer leichten Drehung des Schallkopfes superior und medial war es möglich, den Zusammenfluß der Pulmonalvenen und die Verbindung zum Koronarsinus darzustellen. Bei der Kontrastechokardiographie konnten die Echowolken im rechten Atrium, rechten Ventrikel, linken Atrium und linkem Ventrikel erkannt werden. Snider et al. meinen, daß die zweidimensionale Echokardiographie allein nicht unterscheiden kann, ob eine LPSVC oder andere kongenitale Anomalien einen vermehrten Blutfluß zum Koronarsinus auslösen. Als Beispiel führen sie eine partielle, venöse Verbindung von hepatischen Venen zum Koronarsinus an und eine Koronararterienfistel zum Koronarsinus. Um solche Diagnosen auszuschließen, schlägt sie vor, bei unklaren Fällen eine Kontrastechokardiographie anzuschließen.

1981 untersuchten **Snider und Silverman (81)** 1033 Patienten mit der zweidimensionalen Echokardiographie. Besonderen Wert legten sie bei ihrer Untersuchung auf die suprasternale Schallkopfposition. Das Alter der Patienten lag zwischen einem Tag und 18 Jahren. Die Diagnose wurde bei 527 Patienten durch eine anschließende Herzkatheteruntersuchung bestätigt. Bei den restlichen Patienten wurde die Diagnose durch eine Kombination der klinischen, röntgenologischen, elektrokardiographischen und echokardiographischen Befunde gestellt.

Die Echokardiographie wurde mit einem Varian Associates 80 degree sector scanner mit einer Frequenz von 3,5 MHz oder mit einem Toshiba SSH 10 A Ultraschallgerät mit einer Frequenz von 2,4 MHz durchgeführt. Die Patienten wurden in Rückenlage mit einem Kissen unter der Schulter untersucht, um den Kopf zu überstrecken. Oft wurde der Kopf der Patienten leicht nach links gedreht.

Um die lange Achse im suprasternalen Schnittbild zu erhalten, wurde der Transducer in das Jugulum aufgesetzt und in eine Ebene geschwenkt, die zwischen der rechten Mamille und dem linken Schulterblatt liegt. In dieser Ebene konnte die rechte Pulmonalarterie im Querschnitt gesehen werden, wie sie unter der Aorta hindurchzieht. Um die linke Pulmonalarterie zu sehen, wurde der Transducer leicht zur linken Patientenseite gekippt. Für das Schnittbild in der kurzen parasternalen Achse wurde der Transducer ebenfalls in das Jugulum aufgesetzt, parallel zum Sternum und so gedreht, daß ein Schnitt durch die Körperebene entsteht. Bei dieser Schnittebene konnte die rechte Pulmonalarterie, die Vena cava superior und die quergetroffene Aorta beurteilt werden. Mit einer leichten rechts-anterioren Drehung des Transducers konnte die Verbindung zwischen Vena cava superior und rechtem Atrium beurteilt werden. Die Echogramme wurden auf Videoband aufgezeichnet und konnten später mit Normalgeschwindigkeit oder slow-motion abgespielt werden.

Bei 16 Patienten konnte in der kurzen Achse ein normalerweise nicht vorhandenes Gefäße gesehen

werden, daß vertikal entlang der transversal getroffenen Aorta auf der linken Seite verlief. Dieses Gefäß stellte eine LPSVC dar. Bei 12 der 16 Patienten wurde dies durch eine Herzkatheterisierung bestätigt. Bei den restlichen 4 Patienten wurde, um die Diagnose zu erhärten, eine Kontrastechokardiographie durchgeführt. Es wurde dabei eine Injektion von einer linken Armvene aus vorgenommen. Die LPSVC konnte am besten dargestellt werden, wenn der Transducer leicht zur linken Seite gedreht wurde. Bei zwei der Patienten mit einer LPSVC war die rechte Vena cava superior nicht vorhanden, was mit der Echokardiographie festgestellt und durch die Herzkatheterisierung bestätigt wurde.

Bei zwei Patienten mit Situs ambiguus konnten die beiden Vena cava superiores auf beiden Seiten der transversal getroffenen Aorta erkannt werden. Dieser Befund entsprach der anschließenden Herzkatheruntersuchung.

Die suprasternale Schallkopfposition ist nach Snider ein guter Blickwinkel, um den Aortenbogen, brachiocephale Gefäße und die Pulmonalarterien zu beurteilen. Die Technik ist geeignet, Aortenanomalien, Transpositionen der großen Arterien, Anomalien der Vena cava superior und angeborene Herzfehler mit einem vermehrten oder verminderten pulmonalen Blutfluß zu erkennen und zu beurteilen.

Der Erfolg der suprasternalen Echokardiographie hängt wesentlich von der Mitarbeit der Patienten ab. Besonders bei Neugeborenen kann es unmöglich sein, diese Technik anzuwenden. In solchen Fällen haben Snider et al. die gleichen Ebenen erhalten,

indem sie den Transducer auf das Manubrium sterni aufsetzten. Es ist in diesem Alter noch nicht verkalkt und kann gut durchschallt werden.

Abgesehen von den Hindernissen durch mangelnde Kooperation und technische Ausstattung (es muß ein besonders kleiner Transducerkopf verwendet werden), können Varianten der aszendierenden und deszendierenden Aorta die Untersuchung erschweren. Besonders schwierig wird die Untersuchung, wenn ein rechter Aortenbogen vorliegt und die Patienten eine L-Transposition der großen Arterien aufweisen.

Nach Snider erhält man durch die suprasternalen Schallebenen eine Möglichkeit, Strukturen zu beurteilen, die mit anderen Einstellungen nicht zu erhalten sind. Besonders auch der Nachweis einer LPSVC ist mit der suprasternalen Schallkopfposition gut möglich.

Stewart et al. (82) untersuchten 170 Patienten mit der Kontrastechokardiographie. Die Echogramme wurden im Rahmen der Vorfelddiagnostik vor einer Herzkatheteruntersuchung durchgeführt. Das Alter der Patienten lag zwischen 17 und 63 Jahren. Nach der Röntgenuntersuchung war in keinem Falle eine LPSVC zu erwarten. Die Echogramme wurden in Normalgeschwindigkeit mit einem Grumman RT 400 Echokardiographiegerät in den normalen Standardprojektionen aufgenommen und auf Videoband aufgezeichnet.

Spezielles Augenmerk wurde auf die lange Achse des Herzens gelegt. Bei dieser Einstellung kann der Koronarsinus als zirkuläre Struktur in der Region des posterioren, atrioventrikulären Übergangs des hinteren Mitralsegels zum linken Atrium gesehen werden.

Der Echokontrast wurde durch eine schnelle Injektion von 10 ml normaler Kochsalzlösung von einer linken Armvene aus erreicht. Während der Injektion wurde große Aufmerksamkeit auf die Reihenfolge der Kontrastierung der einzelnen Herzstrukturen gelegt.

Bei 5 Patienten wurde eine Vergrößerung des Koronarsinus festgestellt. Injektionen von Kochsalz in die linke Armvene führten in allen Fällen zuerst zu einer Kontrastierung des Koronarsinus und anschließend des rechten Atrium und des rechten Ventrikels.

Injektionen des Kontrastmittels in eine rechte Armvene führten zu einer Echovernichtung im rechten Atrium und rechten Ventrikel, jedoch nicht im Koronarsinus. Die erhobene Diagnose einer LPSVC wurde bei allen 5 Patienten durch eine Katheterisierung oder Operation bestätigt.

Es ist möglich, daß die zweidimensionale Kontrastechokardiographie ein paar Formen einer LPSVC nicht aufzeigt. Wenn der Koronarsinus abwesend oder atretisch ist, kann die LPSVC retrograd Blut vom Koronarvenensystem zu einer Verbindungsvene zwischen rechter und linker Vena cava superior und schließlich in die rechte Vena cava superior führen (50). In diesen Fällen stellt sich die Anoma-

lie in der Kontrastechokardiographie nicht dar. Allerdings tritt dieser Fall nach WINTER (89) (1954) sehr selten auf. Es werden deshalb nach STEWART mit der Kontrastechokardiographie nur sehr selten falsch negative Ergebnisse bei der Darstellung einer LPSVC zu erwarten sein.

Cohen et al. (10) untersuchten 1979 drei Patienten mit einer LPSVC mit Hilfe der M-Mode und zweidimensionalen Echokardiographie. Die Diagnosen wurden durch Herzkatheterisierung und Operation bestätigt.

Die M-Mode-Echokardiographie wurde mit einem nicht fokussierten Kristalltransducer von 2,25 MHz und der nötigen Zusatzausstattung (Ekoline 20 A oder Picker 80 C echoview) durchgeführt. Die zweidimensionale Echokardiographie wurde mit einem 60 Grad mechanischen sector scanner durchgeführt. Bei allen 3 Patienten wurde zusätzlich eine Kontrastechokardiographie angeschlossen. Die Kontrastmittelinjektion von 5 cm³ Kardiogrün wurde während der Herzkatheteruntersuchung durch einen Katheter vorgenommen, der direkt im Koronarsinus platziert war. Die periphere Kontrastmittelinjektion erfolgte über eine linke und rechte Armvene.

Bei der ersten Patientin zeigte sich im zweidimensionalen Echogramm in der longitudinalen Achse ein echofreier Raum mit 2 cm Durchmesser hinter der Verbindung zwischen linkem Atrium und linkem Ventrikel. Die Injektion direkt in die Koronarsinus führte zu einer Kontrastierung dieses Raumes. Die Injektion in die linke Vena basilika brachte das

gleiche Ergebnis, während die Injektion in die rechte Vena basilika nur zu einer Echoverdichtung im rechten Ventrikel führte.

Bei der zweiten Patientin ergaben sich die gleichen Resultate. Ein echofreier Raum hinter dem linken Atrium und linken Ventrikel füllte sich bei einer Kontrastinjektion in den Koronarsinus und bei Injektion in eine linke Armvene jedoch nicht bei Injektion in eine rechte. Die dritte Patientin zeigte die gleichen Ergebnisse, nur wurde bei ihr auf eine periphere Kontrastechokardiographie verzichtet.

Ein echofreier Raum hinter dem linken Ventrikel kann durch verschiedene Gegebenheiten hervorgerufen werden.

Nach COHEN sollte ein erweiterter Koronarsinus vermutet werden, wenn sich ein echofreier Raum hinter dem Übergang des linken Vorhofes zum linken Ventrikel zeigt, und sich auf dieses Gebiet beschränkt. Die zweidimensionale Echokardiographie kann die exakte Lokalisation, Größe und anatomische Beziehung dieses Bezirks aufzeigen. Die Kontrastechokardiographie kann bei der Bestätigung einer LPSVC, die in den erweiterten Koronarsinus mündet, helfen. Wenn nach peripherer Injektion in eine linke Armvene der echofreie Bezirk und der rechte Ventrikel kontrastiert werden, spricht dies eindeutig für das Vorliegen einer LPSVC.

10.2. Gegenüberstellung mit eigenen Ergebnissen

Unsere Ergebnisse decken sich größtenteils mit den Untersuchungsergebnissen, die in der Literatur angeführt sind.

Bei allen Untersuchungen (10, 36, 38, 80, 81, 82) zeigte sich ein zirkulärer, echofreier Raum am atrioventrikulären Übergang, der dem durch die Einmündung der LPSVC erweiterten Koronarsinus entsprach.

Dasselbe Echo konnten auch wir bei allen Kindern mit einer LPSVC nachweisen. Im Gegensatz zu NORIO HIBI et al. (36) jedoch bleibt dieser echofreie Raum während der gesamten Herzaktion konstant. Es war lediglich in der Diastole eine Bewegung nach anterior mit der linken Atriumwand zu beobachten. Dies entspricht auch den Befunden von SNIDER und SILVERMAN (81), die ebenfalls eine Bewegung des gesamten Bezirks während der Diastole nach anterior gemeinsam mit der linken Atriumwand beobachteten, jedoch keine Größenänderungen feststellen konnten. Auch STEWART (82) beschreibt bei seinen Patienten eine zirkuläre Struktur in der Region des posterioren, atrioventrikulären Übergangs des hinteren Mitralsegels als erweiterten Koronarsinus bei Einmündung einer LPSVC. Zu den gleichen Resultaten kommen auch COHEN (10) und seine Mitarbeiter, die einen zirkulären, echofreien Raum am atrioventrikulären Übergang bei 3 Patienten mit LPSVC feststellten.

Obwohl sich alle Untersuchungsergebnisse in Bezug auf den erweiterten Koronarsinus decken, darf unserer Ansicht nach alleine aus dieser Beobachtung noch nicht auf das Vorhandensein einer LPSVC geschlossen werden.

Ein erweiterter Koronarsinus kann nach MARTINI et al. (50) bei folgenden kongenitalen Herzfehlern oder Herzerkrankungen vorkommen:

A. Anomalien ohne Links-Recht-Shunt

1. LPSVC (am häufigsten) mit Mündung in den Koronarsinus
2. Partielle Lebervenenfehlmündung in den Koronarsinus (sehr selten)
3. Verbindung der Vena cava inferior mit einer LPSVC und Mündung in den Koronarsinus

B. Anomalien mit Links-Rechts-Shunt

1. Shunts mit niedrigen Drucken
 - a. Verbindung des Koronarsinus mit dem linken Atrium
 - b. Lungenvenenfehlmündung in den Koronarsinus (TAPVC vom gemischten und kardialen Typ)
2. Shunts mit hohen Drucken
 - a. Fistelbildung zwischen den Koronararterien und dem Koronarsinus

C. Ohne Anomalien bei Herzerkrankungen

1. Bei Rechtsherzhypertrophie
2. Bei chronischer Herzinsuffizienz

Wie der oben angeführten Aufzählung zu entnehmen, ist zwar die links persistierende Vena cava superior mit Mündung in den Koronarsinus die häufigste

Ursache für dessen Erweiterung, jedoch dürfen auch seltene Ursachen für eine Vergrößerung des Ostiums nicht übersehen werden.

Aus diesem Grunde wurde von allen Untersuchern in der Literatur versucht, die Diagnose einer LPSVC mit Mündung in den Koronarsinus mit Hilfe der Kontrastechokardiographie zu untermauern. Bei allen zeigte sich, daß nach der peripheren Injektion eines Kontrastmittels in eine linke Armvene (entweder physiologische Kochsalzlösung (38, 80, 81, 82) oder Indozyanin grün (10, 36)) eine Kontrastierung des Koronarsinus erfolgte und anschließend eine Füllung des rechten Atriums und rechten Ventrikels auftrat. Bei Injektion über eine rechte Armvene stellten sich nur das rechte Atrium und der rechte Ventrikel dar, jedoch nicht der Koronarsinus.

Diese Befunde konnten wir bei unseren Kontrastechogrammen leider nicht nachvollziehen. Trotz wiederholter Versuche war es uns nicht möglich, eine Füllung des Koronarsinus zu erreichen. Das Kontrastmittel zeigte sich sofort im rechten Atrium und anschließend im rechten Ventrikel. Nur in einem Fall war es möglich, die Füllung der LPSVC in der parasternalen kurzen Achse darzustellen, jedoch konnte der Kontrastmittelfluß nicht entsprechend dem Blutstrom verfolgt werden. Da bei allen 5 Kindern, die wir mit der Kontrastechokardiographie untersuchten, eine LPSVC mit Mündung in den Koronarsinus durch eine Herzkatheterisierung nachgewiesen worden war, kamen andere Ursachen für einen erweiterten Koronarsinus nicht in Betracht. Eine schlüssige Erklärung für das Scheitern der Versuche können wir nicht geben.

Eine mangelnde Bolustechnik scheidet wegen der ausreichenden Kontrastierung des rechten Atriums und des rechten Ventrikels aus. Da jeweils vor der Injektion die optimale Einstellung zur Darstellung des Koronarsinus aufgesucht wurde und sie von einem Helfer und nicht dem Untersucher vorgenommen wurde, sind Fehler infolge einer falschen Bildeinstellung auszuschließen.

Aufgrund der enttäuschenden Ergebnisse sowie der mangelnden Kooperation der Eltern, entschlossen wir uns, die Kontrastechokardiographie nicht weiter durchzuführen.

Man kann unserer Meinung nach bei der zusätzlichen Verwendung der suprasternalen Echokardiographie auf diese nach der Literatur, sehr effiziente Methode zum Nachweis einer LPSVC jedoch verzichten.

Mit Hilfe der suprasternalen Echokardiographie war es uns möglich, bei allen betroffenen Kindern in der kurzen Achse einen echofreien Raum auf der rechten Bildschirmseite dazustellen. Es verlief spiegelbildlich zu rechten Vena cava superior auf der rechten Bildschirmseite. Medial zeigte sich die transversal getroffene Aorta. Dies entspricht auch den von SNIDER et al. (81) beschriebenen Veränderungen bei der Persistenz einer linken Vena cava superior.

SNIDER sieht jedoch Schwierigkeiten in der Untersuchung durch mangelnde Kooperation der Patienten und bei Varianten der aufsteigenden und absteigenden Aorta, besonders bei Transposition der großen Arterien.

Keines der von uns untersuchten Kindern mit einer LPSVC wies eine Transposition der großen Arterien auf, so daß wir über Probleme beim Auftreten dieser Konstellation keine Aussage treffen können. Wir meinen jedoch, daß besonders auch mit der Anwendung der Dopplerechokardiographie in Zukunft auch bei dieser Fragestellung keine diagnostischen Schwierigkeiten auftreten werden.

Aus der Kombination der beiden Einstellungen, erstens, der suprasternalen kurzen Achse mit Darstellung der LPSVC als Gefäß auf der rechten Bildschirmseite sowie zweitens, des parasternalen Längsachsenschnittes mit Darstellung des erweiterten Koronarsinus, ist unserer Meinung nach der Nachweis einer LPSVC sicher zu erbringen.

Die direkte Verbindung einer LPSVC zum Koronarsinus war in den meisten Fällen mit großen Schwierigkeiten verbunden. Wir begnügten uns deshalb mit der Information aus den beiden Schnittbereichen, um eine Aussage treffen zu können.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß wir bei allen Kindern mit einer LPSVC diese mit Hilfe der 2 D-Echokardiographie eindeutig darstellen konnten. Das entspricht den Ergebnissen von HUHTA (38), der ebenfalls in 96 % einer LPSVC nachweisen konnte. Ebenso konnten HIBI et al. (36) bei 12 ihrer Patienten eine LPSVC mit Hilfe der 2 D-Echokardiographie sicher nachweisen. Auch SNIDER et al. (80), die 1979 8 Patienten und 1981 16 Patienten mit der 2 D-Echokardiographie untersuchten, konnten bei diesen Patienten eine LPSVC sicher dia-

gnostizieren. Zu dem gleichen Ergebnis kamen auch STEWART (82) und seine Mitarbeiter, die bei 5 Patienten eine LPSVC mit der 2 D-Echokardiographie feststellten, was sich bei der anschließenden Herzkatheteruntersuchung bestätigte.

Es kann deshalb davon ausgegangen werden, daß die zweidimensionale Echokardiographie ein diagnostisch wertvolles Screeningverfahren darstellt, um präoperativ eine Aussage über das Vorhandensein oder den Ausschluß einer LPSVC zu treffen.

11. Zusammenfassung:

Die Häufigkeit einer links persistierenden Vena cava superior bei angeborenen Vitien beträgt in der Regel 1-4 %. Bei 4843 Herzkatheteruntersuchungen im Deutschen Herzzentrum München zwischen Januar 1976 und Oktober 1985 fanden wir 110 Patienten mit einer LPSVC, was einem prozentualen Anteil von 2,2 % entspricht.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es das Vorhandensein oder den Ausschluß einer links persistierenden Vena cava superior mit der zweidimensionalen Echokardiographie zu überprüfen.

Mit dieser Methode wurden insgesamt 111 Kinder im Alter zwischen 1 Tag und 13 Jahren und 2 Monaten untersucht. Sie lassen sich in 2 Gruppen aufteilen:

Die erste Gruppe (retrospektiv) bestand aus 51 Kindern (21 Mädchen, 30 Jungen, 3 Tage - 11 Jahre 4 Monate, im Mittel 4 Jahre und 11 Monate) bei denen durch eine Herzkatheteruntersuchung eine LPSVC nachgewiesen worden war.

Die zweite Gruppe (prospektiv) bestand aus 60 Kindern (27 Mädchen, 33 Jungen, 1 Tag - 13 Jahre 2 Monate, im Mittel 5 Jahre 3 Monate) bei denen maximal 2 Tage nach der echokardiographischen Untersuchung eine Herzkatheteruntersuchung durchgeführt wurde.

Diese Gruppe diente dazu, eine LPSVC nachzuweisen, ohne daß die Diagnose bereits durch eine Herzkatheteruntersuchung gesichert war.

Bei allen Kindern wurde die zweidimensionale Echokardiographie nach der von TAJIK et al. (83) beschriebenen Weise durchgeführt.

Es war bei allen Kindern möglich, die rechte Vena cava superior darzustellen. Bei allen Kindern aus der ersten Gruppe war es ebenfalls möglich, die links persistierende Vena cava superior eindeutig darzustellen.

In der zweiten Gruppe konnte bei 5 Kindern die Diagnose einer LPSVC gestellt werden, was sich in der folgenden Herzkatheteruntersuchung bestätigen ließ.

Die Sensitivität und Spezifität bei der Erkennung der rechten und linken Vena cava superior betrug somit 100 %.

Die zweidimensionale Echokardiographie eignet sich deshalb gut, als Screening-Untersuchung zum Nachweis oder Ausschluß einer links persistierenden Vena cava superior.

Literaturverzeichnis

1. Allen, H.H., Sahn D.J., Goldberg S.J.:
New serial contrast technique for assessment
of left to right shunting patent ductus
arteriosus in the neonate.
Am. J. Cardiol. (1978) 41: 288

2. Barthel, H.:
Mißbildungen des menschlichen Herzens.
Thieme Verlag, Stuttgart (1960)

3. Bourdillon, P.D.V., Foale R.A.,
Rickards A.F.:
Assessment of atrial septal defects by cross-
sectional echocardiography.
In: Lancee G.I.,
ed. Echocardiography. The Hague: Martinus
Nijhoff Publishers (1979), 61

4. Rove, A.A., Adams D.F., Hugle A. E.,
Lynch P.P.:
Cavitation at catheter tips: a possible cause
of air embolus.
Invest. Radiol. (1968), 3159

5. Rove, A.A., Ziskin M.C., Mulchin U.L.:
Ultrasonic detection of in vivo cavitation and
pressure effects of high speed injections
through catheters.
Invest. Radiol. (1969), 4263

6. Bjerregard, P., Laursen H. B.:
Persistent left superior vena cava.
Acta. Paediatr. Scand. (1980) 69: 105

7. Campell, M., Deuchar P.C.:
The left sided superior vena cava.
Brit. Heart. J. (1954) 16: 423
8. Cha, E. M., Khoury, G.H.:
Persistent left superior vena cava.
Radiology (1972) 103: 375
9. Chaithiraphan, S.:
Massive thrombosis of the coronary sinus as an
unusual complication of transvenous pacemaker
insertion in a patient with persistent left
and no right superior vena cava.
J. Am. Geriatr. Soc. (1974) 22: 79
10. Cohen, B.F., Winer H.W., Krozon J.:
Echocardiographic findings in patients with
left superior vena cava and dilated coronary
sinus.
Am. J. Cardiol. (1979) 44: 158
11. Colman, A.L.:
Diagnosis of left superior vena cava by
clinical inspection, a new physical sign.
Am. Heart J. (1967) 73: 115.
12. Danilowicz, D., Kronzon J.:
Use of contrastechocardiography in the
diagnosis of partial anomalous pulmonary
venous connection.
Am. J. Cardiol. (1979) 43: 248
13. Darling, R.C., Rothney W. B., Craig J. M.:
Pulmonary venous drainage into the right side
of the heart.
Lab. Invest.(1957) 6: 44

14. L. A. Kiselev, *Trav. Inst. Cardiol. Acad. Sci. USSR*, 1967, No. 1, 10-11 (English transl. in *Cardiology*, 1967, 3: 10-11).
15. L. A. Kiselev, *Trav. Inst. Cardiol. Acad. Sci. USSR*, 1967, No. 1, 10-11 (English transl. in *Cardiology*, 1967, 3: 10-11).
16. L. A. Kiselev, *Trav. Inst. Cardiol. Acad. Sci. USSR*, 1967, No. 1, 10-11 (English transl. in *Cardiology*, 1967, 3: 10-11).
17. L. A. Kiselev, *Trav. Inst. Cardiol. Acad. Sci. USSR*, 1967, No. 1, 10-11 (English transl. in *Cardiology*, 1967, 3: 10-11).
18. L. A. Kiselev, *Trav. Inst. Cardiol. Acad. Sci. USSR*, 1967, No. 1, 10-11 (English transl. in *Cardiology*, 1967, 3: 10-11).
19. L. A. Kiselev, *Trav. Inst. Cardiol. Acad. Sci. USSR*, 1967, No. 1, 10-11 (English transl. in *Cardiology*, 1967, 3: 10-11).
20. L. A. Kiselev, *Trav. Inst. Cardiol. Acad. Sci. USSR*, 1967, No. 1, 10-11 (English transl. in *Cardiology*, 1967, 3: 10-11).

21. Fraser, R. G., Dvorak, J., Rossall, R. E.,
Fraser, C.
Left superior vena cava: review of associated
congenital heart lesions, catheterization data
and roentgenologic findings.
Am. J. Heart. (1961) 22, 711
22. Gross, R. A., Gross, E. A., Felt, C. A., et al.
Fraser, C.
Persistent left superior vena cava.
J. Cardiol. (1953) 4, 677
23. Gross, R. A., Gross, E. A., Felt, C. A., et al.
Fraser, C.
Congenital anomalies of the venous system
in persistent left superior vena cava
J. Cardiol. (1953) 4, 677
24. Gross, R. A., Gross, E. A., Felt, C. A., et al.
Fraser, C.
Ein Fall von persistenter linksseitiger Hohl-
venen-Öffnung zur fettschlingenartigen Einbindung
des Herzes.
Arch. Kreislaufforsch. (1953) 22, 907
25. Gross, R. A., Gross, E. A., Felt, C. A., et al.
Fraser, C.
Catheterography of the thoracic aorta
J. Cardiol. (1953) 4, 677
26. Gross, R. A., Gross, E. A., Felt, C. A., et al.
Fraser, C.
Intracard catheterography, contrast studies in
congenital heart disease.
J. Cardiol. (1953) 4, 677

27. Gramiak, R., Shah P.M.:
Echocardiography of the normal and diseased
aortic valve.
Radiology (1970) 1: 96
28. Gramiak, R., et al.:
Echocardiographic detection of pulmonary
valve.
Radiology (1972) 102: 1534
29. Griffith, J.M., Henry W.L.:
A sector scanner for real time two dimensional
echocardiography.
Circulation (1974) 49: 1147
30. de Groot, J.W.C.:
Bilateral superior vena cava accompanied by
patent ductus arteriosus.
Br. Heart J. (1951) 13: 403
31. Gullace, G., Savoia M.T., Ravizza P.,
Knippel M., Ranki C.:
Detection of atrial septal defect with left-
to-right shunt by inferior vena cava contrast
echocardiography.
Br. Heart J. (1982) 47: 445
32. Hamilton, W. J., Boyd J.D., Mossman H.W.:
Human Embryology.
Cambridge (1962)
33. Hancock, E.W.:
Coronary sinus rhythm in sinus venosus defect
and persistent left superior vena cava.
Am.J. Cardiol. (1964) 14: 608

34. Harris, A., Gialafos J., Jefferson, K.:
Transvenous pacing in prescence of anomalous
venous return to heart.
Br. Heart J. (1972) 34: 1189
35. Hibi, N., Fukui Y., Nishimura K., Miwa A.,
Kambe T.:
Real time observation of left atrial myxoma
with high speed B mode echocardiography.
J. Clin. Ultrasound (1979) 7: 34
36. Hibi, N., Fukui Y., Nishimura K., Miwa A.,
Kambe T., Sakamoto N.:
Cross sectional echocardiographic study on
persistent left superior vena cava.
Am. Heart J. (1980) 100/1: 69
37. Horwitz, S., Esquivel J., Attie F., Lupi E.,
Espino-Vela J.,:
Clinical diagnosis of persistent left superior
vena cava by observation of jugular pulses.
Am. Heart J. (1973) 86: 759
38. Huhta, J.C., Smallhorn J.F., Mc Cartney F.J.,
Anderson R.H., de Leval M.:
Cross-sectional echocardiographic diagnosis of
systemic venous return.
Br. Heart J. (1982) 48: 388

39. Jacob, T., Ablett M., Stark J.:
Transposition of the great arteries, primum
atrial septal defect, azygos continuation of
the inferior vena cava, bilateral superior
venae cavae and dextrocardia with centrally
placed liver.
Am. Heart J. (1977) 93: 623
40. James, T.N., Marshall T.K., Edwards J.E.:
Cardiac electrical instability in the presence
of a left superior vena cava.
Circulation (1976) 54: 689
41. Keidel, W.D.:
Über eine Methode zur Registrierung der Volu-
menänderung des Herzens am Menschen.
Z. Kreisl.-Forsch. (1950) 39: 257
42. Kerver, R.E., Kelly D.H., Gutenkauf C.H.:
Left atrial myxoma. Demonstration by stop
action cardiac ultrasonography.
Am. J. Cardiol. (1974) 34: 838
43. Kremskau, F.W., Gramiak R., Carstensen E.L.,
Shah P.M., Kramer D.:
Ultrasonic detection of cavitation at catheter
tips.
Am. J. Roentgenol. Radium Ther. Nucl. Med.
(1970) 11: 177
44. Kronik, G., Slany J., Moesslacher H.:
Contrast M-mode echocardiography in diagnosis
of atrial septal defects in acyanotic pa-
tients.
Circulation (1979) 59: 372

45. Kronik, G., Möslacher H.:
Positive contrast echocardiography in patients
with patent foramen ovale and normal right
heart hemodynamics.
Am.J. Cardiol. (1982) 49: 1806

46. Lambertz, H., Schweizer P., Erbel R., Meyer
J., Effert S.:
Stellenwert der Kontrastechokardiographie in
der Erkennung einer Trikuspidalinsuffizienz.
Z. Kardiol. (1982) 71: 771

47. Langman, J.:
Medizinische Embryologie.
Thieme, Stuttgart (1976)

48. Lenox, C.C., Zuberbuhler J.R., Park S.C.,
et al.:
Absent right superior vena cava with persistent
left superior vena cava. Implications and
management.
Am.J. Cardiol. (1980) 45: 117

49. Leval, M.R., Ritter D.G., McGoon D.C., Daniel-
son G.K.:
Anomalous systemic venous connection. Surgical
considerations.
Mayo Clin. Proc. (1975) 50: 599

50. Mantini, E., Grondin C.M., Lillihei C.W.,
et al.:
Congenital anomalies involving the coronary
sinus.
Circulation (1966) 33: 317

51. McMichael, J., Mounsey J.P.D.:
A complication following coronary sinus and
cardiac vein catheterization in man.
Br. Heart J. (1951) 13:397
52. McWilliams, H.L., Nair V.S.:
Transvenous pacing by way of a left superior
vena cava.
Angiology (1977) 28: 614
53. Momma, K., Linde L.V.:
Cardiac rhythms in dextocardia.
Am.J. Cardiol. (1970) 25:420.
54. Motera, C., Hunter S., Tynan M.:
Contrast echocardiography and the suprasternal
approach in infants and children.
European Journal of Cardiol. (1979) 9: 437
55. Mortera, C., Hunter S., Tynan M.:
Diagnosis of ventriculo arterial discordance
(transposition of the great arteries) by con-
trast echocardiography.
Br. Heart J. (1979) 39: 844
56. Müller, K.D., Steinbauer I., Glet F.:
Nachweis von Rechts-Links-Shunts durch ein-
und zweidimensionale Kontrastechokardiogra-
phie.
Z. Kardiol. (1978) 67: 346
57. Netter, F.H.:
The Ciba collection of medical illustrations.
Yonkman. Volume 5 (Heart) (1969) : 133

58. Nichol, P.M., Gilbert B.W., Kisslo J.A.:
Two-dimensional echocardiographic assessment
of mitral stenosis.
Circulation (1977) 55: 120

59. Nimura, Y., Matsumoto M., Beppu S., Matsuo H.,
Sakakibara H., Abe H.:
Non invasive preoperative diagnosis of cor
triatratrium with ultrasono-cardiotomogram and
conventional echocardiogram.
Am. Heart J. (1974) 88: 240

60. Patten, B.M.:
Human Embryology. McGraw - Hill Book Co. Inc.
London (1953)

61. Le Pere, R., Kohler C.M., Klinger P.,
Lowry J.K.:
Intrathoracic venous anomalies. J. Thoracic
and Cardiovasc. Surgery (1965) 49/4: 599

62. Pfannenstiel, P., Hirsch H., Stein N.,
Maier R., Meindl S., Voges K., Willmann L.:
Vergleich bildgebender Verfahren in der
Schilddrüsendiagnostik.
Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlen-
schutz (1984): 73

63. Pieroni, D.R., Valdes-Cruz L.M.:
Atrial right-to-left shunt in infants with
respiratory and cardiac distress but without
congenital heart disease.
Ped. Cardiol. (1981) 2: 1

64. Popp, R.L., Silverman J.F., French J.W., Stinson E.B., Harrison D.C.:
Echocardiographic findings in discrete subvalvular aortic stenosis.
Circulation (1974) 49: 226
65. Rastelli, G.C., Rahimtoola S.A., Ongley P.A., McGoon D.C.:
Common atrium: anatomy, hemodynamics and surgery.
J. Thorac. Cardiovasc. Surg. (1968) 55: 834
66. Reichenbach, F.:
Anomalien der Hohlvenen und Lungenvenen.
Dissertation Medizinische Fakultät Humboldt-Universität Berlin (1978).
67. Rhagib, G., Ruttenberg H.D., Anderson R.C.
Amplatz K., Adams P., Edwards J.E.:
Termination of left superior vena cava in left atrium, atrial septal defects and absence of coronary sinus.
Circulation (1965) 31: 906
68. Roelandt, R., Metzler R.S., Serruys P.W.:
Contrast echocardiography of the left ventricle.
Echocardiology Hrsg. H. Rijsterborgh, M. Nijhoff Publishers (The Hague) (1981)
69. Rose, M., Gross L., Protos A.:
Transvenous pacemaker implantation by way of an anomalous left superior vena cava.
J. Thorac. Cardiovasc. Surg. (1971) 62: 965

70. Rubenfire, M., Evangelista J., Wajszczn W.J.,
Kautrowitz A.:
Complication of a persistent left superior
vena cava in transvenous pacemaker therapy and
cardiac hemodynamic monitoring.
Chest (1974) 65: 145
71. Sahn, D.J., Allen H.D., Harris T. R.,
George W.L., Goldberg S. J.:
Non invasive assessment of cardiocirculatory
patterns in critically ill neonates using a
saline contrast ultrasound technique.
3. World Congress of Ultrasound in Med. 113.
San Francisco Aug. 1-2 (1975)
72. Sahn, D.J., Allen H.D., George W., Maris M.,
Goldberg S.:
The utility of contrast echocardiographic
techniques in the care of critically ill in-
fants with cardiac and pulmonary disease.
Circulation (1977) 56: 959
73. Seward, J., Tajik A., Spangler J., Ritter D.:
Echocardiographic contrast studies.
Mayo Clin. Proc. (1975) 50: 163
74. Seward, J.B., Tajik A.J., Spangler J.G.,
Ritter D.G.:
Echocardiographic studies initial experience.
Mayo Clinic Proc. (1975) 163

75. Seward, J., Tajik A., Hagler D., Ritter D.:
Peripheral venous contrast echocardiography.
Am. J. of Cardiol. (1977) 39: 202
76. Serruys, P.W.M., Van den Brand M.,
Hugenholtz P.G., Roelandt J.:
Intracardiac right to left shunts demonstrated
by two-dimensional echocardiography after
peripheral vein injection.
Br. Heart J. (1979) 42: 429
77. Shehadi, W.H., Tonilo G.:
Adverse reactions to contrast media.
Radiology (1980) 137: 299
78. Shub, C., Tajik A.J., Seward J.B.:
Detecting intrapulmonary right to left shunt
with contrast echocardiography observations in
a patient with diffuse pulmonary arteriovenous
fistulas.
Mayo. Clinic. Proc. (1976) 51: 81
79. Silverman, N.H., Schiller N.B.:
Apex echocardiography: a two-dimensional
technique for evaluating congenital heart
disease.
Circulation (1978) 57: 503
80. Snider, R., Ports T.A., Silverman N.:
Venous anomalies of the coronary sinus: detec-
tion by M-Mode, two-dimensional and contrast
echocardiography.
Circulation (1979) 60/4: 721.

81. Snider, R., Silverman N.H.:
Suprasternal notch echocardiography: a two dimensional technique for evaluating congenital heart disease.
Circulation (1981) 63/1: 165
82. Stewart, J.A., Fraker T.D., Slosky D.A.,
Wise K.D., Kisslo J.A.:
Detection of persistent left superior vena cava by two dimensional contrast echocardiography.
J. Clin. Ultrasound (1979) 7: 357
83. Tajik, A.J., Seward J.B.:
Two dimensional real-time ultrasonic imaging of the heart and great vessels.
Mayo Clin. Proc. (1978) 53: 271
84. Tallury, V.K., DePasquale N.P.:
Ultrasound cardiography in the diagnosis of left atrial thrombus.
Chest (1971) 51/5: 501
85. Taybi, H., Kurlander G.J., Lurie P.R.,
Campbell J.A.:
Anomalous systemic venous connection to the left atrium or to a pulmonary vein.
Am. J. Roentgenol. (1965) 94: 62
86. Tuma, S., Sămănek M., et al.:
Anomalies of the systemic venous return.
Pediat. Radiol. (1977) 5: 193

87. Valdes-Cruz, L., Pieroni D., Roland J.M.,
Varghese P.:
Echocardiographic detection of intracardiac
right-to-left shunts following peripheral vein
injections.
Circulation (1976) 54: 558
88. Weyman, A.E., Wann S., Caldwell R.L.,
Hurwitz R.A., Dillon J.C., Feigenbaum H.:
Negative contrast echocardiography: a new
method for detecting left-to-right shunts.
Circulation (1979) 59/3: 498
89. Winter, F.S.:
Persistent left superior vena cava; survey of
world literature and report of thirty addi-
tional cases.
Angiology (1954) 5: 90
90. Zednikova, M., Baylen B.G., Yoshida Y.,
Eumanouilides G.C.:
Precordial contrast echocardiographic detec-
tion of patent ductus arteriosus in small
preterm infants.
Ped. Cardiol. (1982) 2: 271

13. Abkürzungen

AoVS	Aortenklappenstenose
ASD II	Vorhofseptumdefekt vom Ostium secundum-Typ
CCAVC	Kompletter Atrioventrikularkanal
CoA	Aortenisthmusstenose (präjuxta-postductal)
Cor tria.	Cor triatriatum
Dextr.	Dextrocardie
HOcm	Hypertrophische obstruktive Kardiomyopathie
LPSVC	links persistierende Vena cava superior
MS	Mitralstenose
PA	Pulmonalstenose
PAPVC	Partielle Lungenvenenfehlmündung
PaVS	Pulmonalklappenstenose
SV	Singulärer Ventrikel

TA Trikuspidalatresie

TGA Transposition der großen Arterien
(komplett)

TOF Fallot'sche Tetralogie

VSD Ventrikelseptumdefekt.

Lebenslauf

Am 09.11.1957 wurde ich als drittes Kind meiner Eltern, Maria Fritsch, geb. Richter und Otto Fritsch geboren. In meinem Wohnort, Germaringen, besuchte ich ab 1964 die Grundschule. Von 1968 - 1977 war ich Schülerin des sozialwissenschaftlichen Zweiges des Marien-Gymnasiums, Kaufbeuren.

Nach dem Abitur im Juni 1977 begann ich im Sommersemester 1978 mit dem Studium der Humanmedizin an der Ludwigs-Maximilians Universität, München. Im Dezember 1984 erhielt ich die Approbation als Arzt. Seit dem 1. Mai 1985 bin ich im Universitätsklinikum Großhadern in der Radiologischen Klinik und Poliklinik (Direktor Prof. Lissner) beschäftigt.

